

**ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO CON PROPORCIONES DE VIDRIO  
MOLIDO, TAMIZADO Y GRANULAR COMO ADITIVO, A FIN DE AUMENTAR  
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**

**Auxiliares de investigación**

**JUAN DAVID CANO CANO  
CARLOS MARIO CRUZ PULGARIN**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL  
2017**

**ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO CON PROPORCIONES DE VIDRIO  
MOLIDO, TAMIZADO Y GRANULAR COMO ADITIVO A FIN DE AUMENTAR LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**

**Auxiliares de investigación**

**JUAN DAVID CANO CANO  
CARLOS MARIO CRUZ PULGARÍN**

**Investigador principal  
ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL  
2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por su presencia en nuestras vidas en este proceso y esta meta alcanzada.*

*Queremos agradecer esta meta alcanzada a nuestras familias y especialmente a nuestros padres que con su apoyo fueron el pilar fundamental en nuestra formación como profesionales, brindándonos confianza, consejos y recursos para lograrlo.*

*A nuestro tutor de tesis el ingeniero Adán Silvestre Gutiérrez, quien con su dedicación y colaboración, motivó la culminación de nuestros estudios profesionales y la elaboración de este trabajo de investigación.*

*A todas las personas que de alguna manera u otra fueron partícipes para que este proyecto de investigación se materializara.*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres y mi familia por ser mi soporte, mi motor y por ese esfuerzo incansable que realizaron para brindarme la oportunidad de ir a la academia.*

*A mi abuela, en quien desde el día que partió encomendé mis pasos, por hacerme sentir su compañía y por convertirse en mi ángel protector.*

*A mi novia por ser mi apoyo incondicional, por regalarme siempre una sonrisa y por estar siempre dispuesta a darme una palabra de aliento y de motivación.*

**Juan David Cano Cano**

*A mis padres por ser quienes a lo largo de mi vida me enseñaron valores que me hicieron mejor persona, quienes con mucho esfuerzo me brindaron la oportunidad de asistir a la academia.*

*A mi novia que en todo momento me dio una palabra de apoyo en cada momento difícil de esta etapa.*

**Carlos Mario Cruz Pulgarín**

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN .....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.2 HIPÓTESIS.....	13
2. JUSTIFICACIÓN .....	14
3. OBJETIVOS .....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
4. MARCO REFERENCIAL.....	16
4.1 ANTECEDENTES .....	16
4.2 MARCO TEÓRICO.....	18
4.2.1 Determinación de la resistencia del concreto .....	18
4.2.2 Agregados .....	19
4.2.3 Parámetros de Resistencia del Concreto.....	21
4.2.4 Vidrio .....	22
4.2.5 Reutilización de vidrio en mezclas de concreto .....	23
4.2.6 Reacciones expansivas en el hormigón .....	23
4.3 MARCO CONCEPTUAL .....	24
4.4 MARCO GEOGRÁFICO.....	25
4.5 MARCO TEMPORAL .....	26
4.6 MARCO LEGAL .....	26
5. MATERIALES Y METODOLOGÍA .....	27
5.1 MATERIALES .....	27
5.2 METODOLOGÍA.....	28
5.2.1 Muestreo de los agregados .....	28
5.2.2 Diseño de la mezcla .....	28
Asentamiento: se define para un uso del concreto en un muro de contención.....	28
5.2.3 Tipo de investigación.....	29

5.2.4	Diseño de experimentos .....	29
5.2.5	Población de estudio y muestra .....	30
5.2.6	Recolección de la Información.....	30
6.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
6.1	DISEÑO DE MEZCLA .....	31
6.1.1	Asentamiento.....	31
6.1.2	Tamaño Máximo Nominal (TMN).....	31
6.1.3	Contenido de aire .....	32
6.1.4	Agua de mezclado.....	32
6.1.5	Resistencia .....	32
6.1.6	Relación agua/cemento .....	33
6.1.7	Cantidad de cemento .....	33
6.1.8	Especificaciones agregados .....	33
6.1.9	Agregados .....	34
6.1.10	Dosificación.....	34
6.2	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO EN LAS ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS.....	35
6.3	ENSAYO DE COMPRESIÓN .....	36
6.3.1	Probetas testigo .....	36
6.3.2	Ensayo de compresión con vidrio molido .....	39
6.3.3	Ensayo de compresión con vidrio tamizado .....	46
6.3.4	Ensayo de compresión con vidrio granular.....	54
6.4	COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA DE LA MEZCLA COMÚN CON LAS MEZCLAS CON PROPORCIONES DE VIDRIO MOLIDO, TAMIZADO Y GRANULADO.....	61
6.5	COMPARACIÓN DE LOS PESOS DE LA MEZCLA COMÚN CON LAS MEZCLAS CON PROPORCIONES DE VIDRIO MOLIDO, TAMIZADO Y GRANULADO.....	64
7.	CONCLUSIONES.....	65
8.	RECOMENDACIONES.....	66
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
10.	ANEXOS.....	69

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación de asentamiento .....	31
Tabla 2. Elección del TMN .....	31
Tabla 3. Agua de mezclado .....	32
Tabla 4. Densidad de agua .....	32
Tabla 5. Determinación de la Resistencia .....	32
Tabla 6. Relación agua/cemento .....	33
Tabla 7. Cantidad de cemento .....	33
Tabla 8. Densidad de cemento .....	33
Tabla 9. Especificaciones agregados .....	34
Tabla 10. Determinación de las cantidades de agregados .....	34
Tabla 11. Dosificación de la mezcla .....	34
Tabla 12. Cantidades utilizadas para 1 m <sup>3</sup> y para 1 cilindro. ....	35
Tabla 13. Cantidades utilizadas de vidrio molido .....	35
Tabla 14. Cantidades utilizadas de vidrio granular .....	35
Tabla 15. Cantidades utilizadas de vidrio tamizado .....	36
Tabla 16. Resumen cantidades utilizadas por cada material .....	36
Tabla 17. Probetas testigo a los 14 y 28 días .....	37
Tabla 18. Probetas con vidrio molido a los 14 y 28 días .....	39
Tabla 19. Probetas con vidrio tamizado a los 14 y 28 días .....	46
Tabla 20. Probetas con vidrio granular a los 14 y 28 días .....	54
Tabla 21. Comparación resistencia probetas con vidrio molido Vs Mezcla normal	61
Tabla 22. Comparación resistencia probetas con vidrio tamizado Vs Mezcla normal .....	62
Tabla 23. Comparación resistencia probetas con vidrio granular Vs Mezcla normal .....	63
Tabla 24. Pesos de especímenes de concreto ensayados a los 14 días .....	64
Tabla 25. Pesos de especímenes de concreto ensayados a los 28 días .....	64

## LISTA DE GRÁFICAS

**Pág.**

Gráfica 1. Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo llevada a cabo en México..	18
Gráfica 2.Comparación de la Resistencia obtenida con Vidrio Molido.....	40
Gráfica 3.Comparación de la Resistencia obtenida con Vidrio Molido.....	47
Gráfica 4 Comparación de la resistencia obtenida con cascos de vidrio granular .	54



## LISTA DE FIGURAS

**Pág.**

Figura 1. Resultados esfuerzo de compresión probeta testigo a los 14 días .....	37
Figura 2. Resultados esfuerzo de compresión probeta testigo a los 28 días .....	38
Figura 3. Registro fotográfico probeta testigo a los 14 días .....	38
Figura 4. Registro fotográfico probeta testigo a los 28 días .....	39
Figura 5. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio molido a los 14 días .....	40
Figura 6. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio molido a los 28 días .....	41
Figura 7. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio molido a los 14 días .....	41
Figura 8. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio molido a los 28 días .....	42
Figura 9. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio molido a los 14 días .....	42
Figura 10. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio molido a los 28 días .....	43
Figura 11. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio molido a los 14 días .....	43
Figura 12. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio molido a los 28 días .....	44
Figura 13. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio molido a los 14 días .....	44
Figura 14. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio molido a los 28 días .....	45
Figura 15. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio molido a los 14 días. ....	45
Figura 16. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio molido a los 28 días .....	46
Figura 17. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio tamizado 14 días .....	48
Figura 18. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio tamizado 28 días .....	48
Figura 19. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio tamizado a los 14 días ..	49
Figura 20. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio tamizado a los 28 días.	49
Figura 21. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio tamizado a los 14 días.....	50
Figura 22. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio tamizado a los 28 días.....	50
Figura 23. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio tamizado a los 14 días..	51
Figura 24. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio tamizado a los 28 días..	51
Figura 25. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio tamizado, 14 días .....	52
Figura 26. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio tamizado, 28 días .....	52
Figura 27. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio tamizado a 14 días .....	53
Figura 28. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio tamizado a 28 días .....	53

Figura 29. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% vidrio granular a 14 días .....	55
Figura 30. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% vidrio granular a 28 días .....	55
Figura 31. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio granular a 14 días .....	56
Figura 32. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio granular reciclado a 28 días .....	56
Figura 33. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio granular a 14 días .....	57
Figura 34. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de cascos de vidrio granular a 28 días .....	57
Figura 35. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio granular a 14 días .....	58
Figura 36. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio granular 28 días .....	58
Figura 37. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio granular a 14 días .....	59
Figura 38. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio granular a 28 días .....	59
Figura 39. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio granular a 14 días .....	60
Figura 40. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio granular a 28 días .....	60

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la presente investigación tiene como objetivo general el análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón, para lo cual se plantearon dos objetivos específicos, el primero el diseño de la mezcla ideal para la resistencia de concreto, incluyendo vidrio molido, tamizado y granular en su composición; el segundo la comparación de la resistencia última de la mezcla común con las mezclas con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular, el proyecto permitió la utilización de vidrio en tres presentaciones granulométricas como aditivo a la mezcla de concreto tradicional con fines de mejoramiento de sus características mecánicas como la resistencia a la compresión.

Investigar nuevos materiales de construcción que cumplan los requerimientos de la norma vigente de construcción sismo resistente en Colombia (NSR-10), es una rama que provee nuevas alternativas para la ingeniería del país. El vidrio, por ser un material inerte, de excelentes propiedades mecánicas y de composiciones químicas afines a los agregados del hormigón, resulta ser un objeto de estudio bastante llamativo que puede generar concretos de mejor calidad para el campo de la construcción.

La investigación se basa en la exploración, por medio de ensayos de laboratorio, del comportamiento del concreto con diferentes porcentajes y tipos de vidrio y su comparación con una mezcla tradicional que permitió determinar su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón como material homogéneo.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Como bien es conocido dentro del ámbito de la ingeniería, el fin esencial de toda estructura cuando es construida, es soportar las cargas generadas por su propio peso y su uso, así como también resistir las solicitaciones que se generan durante un evento sísmico, garantizando la seguridad para las personas que la ocupan.

El departamento de Risaralda no es ajeno a los eventos sísmicos, de acuerdo a estudios de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda, se estipula que el departamento tiene un aproximado de 37 fallas geológicas sobre toda su extensión territorial, “la razón para que sean tan numerosas las fracturas de rocas de la corteza terrestre es la alta actividad tectónica que presenta la región occidental de Suramérica”. En el caso específico de la ciudad de Pereira la evaluación neotectónica realizada en el año 2000, identifica cuatro fallas activas: La falla Santa Rosa, Falla San Jerónimo, Falla Río Otún y Falla Consota.<sup>1</sup>

Estas particularidades de la región plantean desafíos para la ingeniería aplicada, entendiendo que esta ciencia debe propender por el desarrollo técnico y tecnológico que garantice cada vez mayor seguridad en las estructuras, bien sea implementando nuevos procedimientos de construcción o mejorando, por medio de los materiales, las propiedades mecánicas de los elementos de la estructura misma.

Por otra parte, dentro de la ingeniería, ha tomado mucha fuerza la inclusión del aspecto ambiental, de las construcciones ecológicas, haciendo necesario el análisis de materiales que impacten positivamente el medio ambiente. Investigar nuevos materiales que sean desechados por algunas industrias después de cumplir su vida útil, es entonces una fórmula esencial para unificar los dos principios que aquí se plantean, y a su vez se convierte en un desafío mayor para la ingeniería del siglo XXI.

---

<sup>1</sup>

PERIODICO EJE 21. sf. Más de 30 fallas geológicas cruzan por Risaralda. [En línea] sf. [Citado el: 2 de Mayo de 2017.] <http://www.eje21.com.co/2013/01/mas-de-30-fallas-geologicas-cruzan-por-risaralda/>.

## **1.2 HIPÓTESIS**

La adición de vidrio molido, tamizado o granular al concreto, permite aumentar su resistencia a la compresión.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Las ciudades requieren estructuras estables, que les brinden a sus ocupantes seguridad, máxime cuando se está expuesto a los fenómenos de la naturaleza, que no son controlados por el hombre. Tal como se detalló en el planteamiento del problema, Risaralda está ubicada sobre fallas geológicas que hacen que sus habitantes estén vulnerables ante cualquier sismo, justificando de esta forma el desarrollo de investigaciones que propendan por edificaciones más resistentes.

Por otra parte, desde todos los ámbitos es necesario realizar tareas que impacten de forma positiva al medio ambiente, el sector de la construcción ha generado impactos negativos al mismo, siendo necesario generar acciones que permitan la reducción de dicho impacto, una de ellas la utilización de materiales reciclados, es decir el aprovechamiento de materiales desechados por la industria.

La investigación planteada se justifica, toda vez que busca analizar la posibilidad de utilizar vidrio granular como alternativa en la producción de hormigón, la cual no solo evidencia un compromiso técnico para construir estructuras más seguras y sostenibles sino también con un impacto positivo al medio ambiente.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar la mezcla ideal para la resistencia de concreto, incluyendo vidrio molido, tamizado y granular en su composición.

Comparar la resistencia ultima de la mezcla normal sin agregados, con las mezclas con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1 ANTECEDENTES**

Dentro del ámbito de la construcción, en los últimos años se ha venido mostrando un gran interés por investigar sobre materiales que proporcionen mejoras considerables en las propiedades físico mecánicas del concreto.

Uno de estos casos es la investigación realizada por Macedo M C<sup>2</sup> en la ciudad de Natal Brasil, que se titula: “Compuesto de yeso e Icopor para la construcción de casas populares” y cuyo objetivo es el de analizar la combinación de diferentes materiales para producir un único dispositivo con mejores propiedades; con lo cual se concluyó que es viable utilizar el hormigón ligero como material de construcción debido a que cumple con los parámetros de resistencia a la compresión y la conductividad térmica, además de ser un material más económico que los convencionales utilizados en dicho país.

También hay enfoques en el análisis de materiales naturales que mejoran las propiedades del concreto como lo estipulan, quienes desarrollaron la investigación “Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto”<sup>3</sup> con el fin de evaluar las propiedades mecánicas del concreto mezclado con fibra de estopa de coco, determinando así un aumento en la resistencia a compresión y flexión, y una disminución de deformaciones según el porcentaje en volumen y las longitudes de la fibra determinados por los diseños de mezcla. En su trabajo de grado, “Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique)”, Jiménez Bohórquez<sup>4</sup> se enfocó en la determinación de los cambios en las propiedades mecánicas del concreto mediante la adición de materiales alternativos como la fibra de fique; obteniendo como resultado una mejora en la resistencia a la flexión, pero produciendo una reducción en la resistencia a la compresión de las mismas muestras.

---

<sup>2</sup> MACEDO, M C; Compuesto de yeso e Icopor para la construcción de casas populares; Natal - Brasil (2011)

<sup>3</sup> QUINTERO GARCÍA, Sandra & GONZALES SALCEDO, Luis; Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto; Cali – Colombia 2006

<sup>4</sup> JIMÉNEZ BOHÓRQUEZ, Jonny; Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique); Bogotá D.C 2011



Otro enfoque en esta rama investigativa de componentes del hormigón se hace evidente en la investigación de Cortes E. y Perilla J.<sup>5</sup> que titula: “Estudio comparativo de las características físico-mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I” donde se compara el comportamiento del hormigón con diferentes tipos de cemento de acuerdo a su composición y características.

El vidrio como aditivo en la mezcla de concreto, se empezó a estudiar en la investigación de que se denomina: “Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado h15, h20, y h30”<sup>6</sup> donde se estudia el comportamiento del concreto al reemplazar el agregado fino por vidrio molido en diferentes cantidades y encontrando que el reemplazo de parte de los áridos por vidrio triturado no provoca cambios significativos en la densidad del hormigón, no se genera un aumento excesivo del peso final de las probetas, ya que el vidrio posee una densidad del mismo orden que los áridos utilizados, manteniéndose dentro del rango permitido por la norma, para los áridos utilizados en hormigones.

Igualmente, como resultado de la investigación antes mencionada se obtuvo que existe una tendencia a un aumento en la resistencia del hormigón, al incluir un 10% de vidrio en la mezcla. Al incluir un porcentaje mayor en la mezcla, se tiende a una disminución de la resistencia, lo cual se explica en la naturaleza del vidrio como material frágil, en detrimento de la ductilidad deseada en hormigones.

Las investigaciones de incorporación de nuevos materiales a mezclas de concreto, han tomado fuerza en el ámbito de la ingeniería actualmente, abriendo así nuevos horizontes para seguir alimentando esta rama de la ingeniería que propenda por brindar cada vez materiales de construcción más seguros y eficientes ante las solicitaciones de servicio y carga a las que son sometidas las estructuras.

---

<sup>5</sup> CORTES E. y PERILLA J.; Estudio comparativo de las características físico -mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I; Bogotá (Colombia) 2014

<sup>6</sup> CATALAN J.; Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado h15, h20, y h30; Valdivia (Chile) 2013

## 4.2 MARCO TEÓRICO

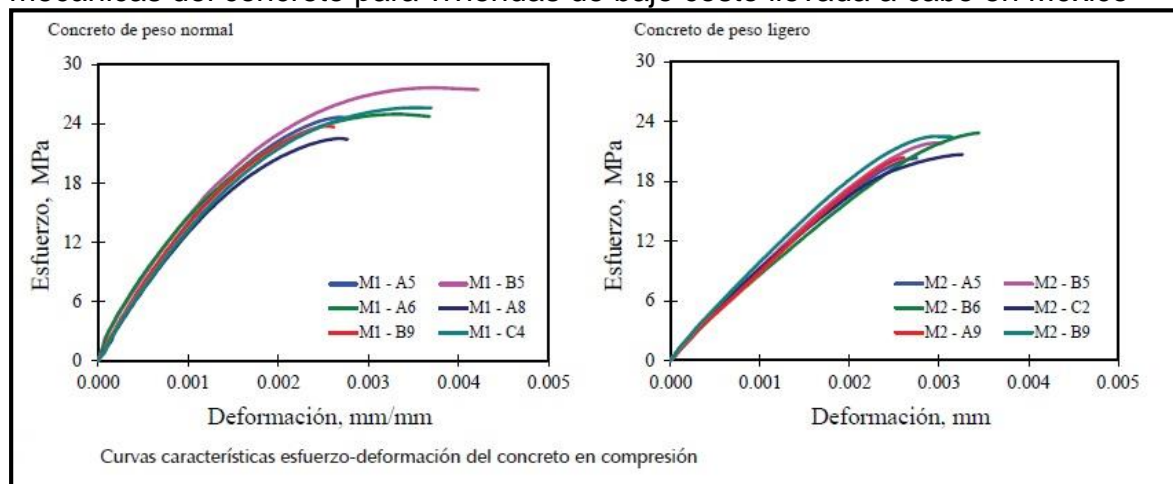
### 4.2.1 Determinación de la resistencia del concreto

Para una determinada mezcla de concreto es necesario determinar su resistencia a la compresión, y así encontrar sus posibles aplicaciones y establecer si es factible o no su uso dentro de algunas obras.

Para determinar la resistencia última a la compresión del concreto es necesario graficar el diagrama de esfuerzo-deformación unitario que es obtenido a partir de la realización del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673).

El comportamiento del concreto sometido a compresión da normalmente como resultado una línea recta dentro de la gráfica de esfuerzo-deformación, mostrando como punto más alto el esfuerzo último para dicho concreto, después de alcanzado dicho punto el concreto será capaz de seguir soportando cargas, sin embargo a partir de allí el comportamiento de la gráfica ya no presenta una tendencia lineal, presentando variaciones significativas, por lo que no es confiable aplicar cargas por encima de este punto.

Gráfica 1. Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo llevada a cabo en México



Fuente: CARRILLO, Julián, ALCOCER, Sergio M., & APERADOR. INGENIERÍA INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA, VOLUMEN XIV (NÚMERO 2): 285-298- Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo. , P. 293

#### **4.2.2 Agregados**

Los agregados también llamados áridos, son un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites estipulados en la Norma Técnica Colombiana NTC-174. Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen de una mezcla de concreto.

##### **Agregado Fino**

El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una mezcla de esta, que pasa por el tamiz N° 4 (4.75 mm) y queda retenido en el tamiz N° 200 que cumple con los límites establecidos en la NTC 174.

Los agregados finos deben estar compuestos de partículas limpias de perfil angular duras, libres de materia orgánica y otras sustancias dañinas; lo cual es determinado mediante los ensayos estipulados en la norma ASTM C40, así mismo debe estar graduado dentro de los límites dados en la norma NTC 174.

##### **Agregado Grueso**

El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, o escoria de alto horno enfriada al aire o una combinación de ellos, material que es retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4), conforme a los requisitos de la NTC 174.

Debe estar conformado por partículas limpias, de perfil preferiblemente angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferiblemente rugosa, además deben ser partículas químicamente estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, materia orgánica, entre otras sustancias dañinas

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta por metro cúbico.

Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.

Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado Módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla.

Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la mezcla debe cubrir totalmente la superficie de los agregados. Si se fractura una piedra, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra.

Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

La textura del material, que indica qué tan lisa o rugosa es su superficie, es una característica ligada a la absorción, pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos, además que producen concretos menos plásticos.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del

mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil".

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la mezcla con cemento tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también interviene favorablemente el agregado fino (arena).

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades mecánicas deseadas al mismo costo.

Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben ser partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la mezcla del cemento.

#### **4.2.3 Parámetros de Resistencia del Concreto**

La resistencia a compresión del concreto varía según los siguientes parámetros:

La relación agua-cemento ( $a/c$ ): tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento más favorable son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Tamaño máximo del agregado: El tamaño del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento que se va a construir.

Condiciones de humedad durante el curado: El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas,

de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada. Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad.

**Edad del concreto:** El tiempo de curado del concreto es fundamental para garantizar que se eviten problemas en la resistencia proyectada del concreto, el tiempo óptimo está considerado en 28 días.

**Cantidad aditivo:** El porcentaje de aditivo a agregar a la mezcla será relativo.

Un ensayo de resistencia debe ser el resultado del promedio de resistencia de 2 cilindros tomados de una misma mezcla y ensayados a los 28 días, el nivel de resistencia para cada clase de concreto se considera satisfactorio si cumple simultáneamente los siguientes requisitos:

- a) Que los promedios aritméticos de todos los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia a la compresión, igualen o excedan el valor especificado para  $F'_c$  (resistencia a la compresión de diseño).
- b) Que ningún resultado individual de las pruebas de resistencia a la compresión (promedio de al menos dos cilindros), sea inferior a  $F'_c$  en más de 3,5 MPa.

#### **4.2.4 Vidrio**

El vidrio es un material cuyo componente mayor es la sílice proveniente de arena, pedernal o cuarzo de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy alta viscosidad. Está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio ( $\text{SiO}_4$ ). Si bien a simple vista pareciera ser muy similar a un cristal, la diferencia con éste radica en el ordenamiento que tienen las moléculas que lo componen, donde los enlaces Si-O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> CATALAN. Op cit.

#### **4.2.5 Reutilización de vidrio en mezclas de concreto**

La reutilización, frente al reciclaje, desde un punto de vista ambiental, tiene más ventajas, debido al ahorro de energía que supone utilizar más veces un mismo envase para luego reciclarlo, que darle un solo uso. Los envases de vidrio se pueden reutilizar, siguiendo un circuito distinto al de los envases de un solo uso. Los envases de vidrio pueden ser reciclados indefinidamente para conseguir nuevos recipientes con las mismas características al original. Un envase retornable se devuelve al envasador, el cual lo higieniza y lo rellena de nuevo. Este ciclo puede repetirse hasta 20 ó 30 veces, en función del contenido y de la resistencia del vidrio. En el proceso de fabricación del vidrio se utiliza más cantidad de material del necesario, para dotarles de mayor resistencia y poder hacer más rotaciones, antes de que finalice su ciclo de vida y puedan ser reciclados. En la industria vidriera también se generan desperdicios de vidrio que resultan en forma de polvo después de un proceso de lavado incluido en la etapa de producción, el cual es desechado y se puede convertir en un proveedor importante para su utilización en mezclas de concreto.<sup>8</sup>

#### **4.2.6 Reacciones expansivas en el hormigón**

Incluir un nuevo material en la mezcla de hormigón tal como el vidrio cuya composición química es en su mayoría la sílice, obliga a estudiar la posible reacción que se genera, que en la teoría se conoce como reacción expansiva alcalí-silicato.

Según el ingeniero Carlos Javier Catalán Arteaga, para que se genere la reacción alcali-silicato dentro de una mezcla de hormigón es necesario que se combinen cuatro condiciones de manera simultánea<sup>9</sup>:

- El agregado debe ser sensiblemente reactivo con álcalis, es decir con alta presencia de silicatos no cristalinos.
- Álcalis en cantidad suficiente para desencadenar la reacción, aportados generalmente por el cemento.
- Humedad necesaria para que los álcalis entren en solución y generen la reacción química.
- Una vez desencadenada la reacción ésta debe mantenerse por el tiempo suficiente para dar origen al gel y su posterior expansión.

---

<sup>8</sup> Ibíd.

<sup>9</sup> Ibíd.

- Si alguna de estas cuatro condiciones no está presente, es imposible la generación de la reacción (SEGARRA, 2005)

Para el caso del vidrio, es especialmente importante este punto, debido a que la reactividad de la sílice, es inversamente proporcional al grado de cristalización de la misma, es decir, mientras mayor sea el grado de ordenamiento de las moléculas, el potencial de reactividad es menor. En la medida que la sílice es más desordenada a nivel molecular, es más probable que entre en reacción con los componentes alcalinos presentes en la mezcla.

Cuando existe probable reactividad se recomienda tomar precauciones para mitigar este riesgo a través de una serie de medidas<sup>10</sup>:

Empleo de cemento con bajo contenido de álcalis (menor a 0,6%).

Uso de adiciones minerales tales como puzolanas, cenizas volantes, escorias y microsílíce como reemplazo parcial del cemento.

Limitar el contenido total de álcalis en las mezclas de concreto a valores entre 1,8k/m<sup>3</sup> y 3kg/m<sup>3</sup> dependiendo del caso particular.

Incluso se pueden adicionar sales de litio como aditivo neutralizador.

Brindar anticipadamente un tratamiento adecuado a las reacciones expansivas potenciales en el hormigón es una alternativa muy rentable dado que influyen directamente en la durabilidad del mismo que se traduce en un ahorro de costos en mantenimiento de edificaciones y estructuras.

### 4.3 MARCO CONCEPTUAL

**Dosificación de mezclas de concreto:** dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica del agregado fino, agregado grueso, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que se habrá de emplear.

---

<sup>10</sup> Ibid.



Para encontrar las proporciones más apropiadas, es necesario preparar varias mezclas de prueba, las cuales se calculan tomando como base las propiedades de los materiales y la aplicación de leyes o principios básicos establecidos.

Los datos básicos para la dosificación son los siguientes: Características de los materiales disponibles (partiendo de una buena calidad, deben cumplir especificaciones de normas NTC), basados en ensayos de laboratorio (normas NTC):

- Cemento: densidad, masa unitaria suelta

- Agua: densidad.

- Agregados: análisis granulométrico incluyendo el cálculo del módulo de finura, tamaño máximo nominal (según el árido), densidad aparente seca, porcentaje de absorción de los agregados, porcentaje de humedad de los agregados y masas unitarias sueltas.

- Aditivos: densidad, características geométricas.

#### **4.4 MARCO GEOGRÁFICO**

Esta investigación se desarrolla en la ciudad de Pereira, departamento de Risaralda.

**Obtención del Vidrio:** el proveedor del vidrio utilizado en el estudio de la presente investigación es la empresa Vidriera de Caldas localizada en la ciudad de Pereira en la Cl. 39 #5-53.

**Cemento:** este material es procedente de la empresa Cementos Argos localizada en el Km 2 Vía Panamericana y comprado en el almacén Homecenter de la Avenida Las Américas #206-45 Pereira. El cemento a utilizar es el Portland tipo 1.

**Agregados:** este material se obtuvo de la empresa Construcciones “El Cairo” ubicada en el Kilómetro 16 vía Cerritos –Viterbo, frente al desvío para el municipio de Belalcazar Caldas.

#### **4.5 MARCO TEMPORAL**

La investigación se realizó entre el segundo semestre del año 2016 y mitad del año 2017.

#### **4.6 MARCO LEGAL**

La investigación se apoya en las siguientes normas:

La resistencia a la compresión para el concreto estructural, así como sus demás parámetros requeridos en Colombia se encuentran estipulados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

El procedimiento a seguir para la elaboración de mezclas y toma de muestras para la realización de probetas cilíndricas de concreto está estipulado en la norma ICONTEC N° 550.

Las especificaciones acerca de la realización del ensayo de resistencia a la compresión para concretos se encuentran en la norma ICONTEC N° 673.

Las especificaciones para la realización de los ensayos correspondientes a los agregados se encuentran en las normas INV. E-230, INV-240, INV. E-133, INV E-212, INV-E227, INV E-214.

## 5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 5.1 MATERIALES

**Vidrio.** Como se indica en el marco teórico el vidrio es un material cuyo componente mayor es la sílice proveniente de arena, pedernal o cuarzo de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy alta viscosidad. Está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio ( $\text{SiO}_4$ ). Si bien a simple vista pareciera ser muy similar a un cristal, la diferencia con éste radica en el ordenamiento que tienen las moléculas que lo componen, donde los enlaces Si-O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo.<sup>11</sup>

**Cemento.** El cemento es el material de construcción muy utilizado en el mundo. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión (el material de construcción con la mayor resistencia por costo unitario), durabilidad, propiedades hidráulicas, acústicas y estética para una diversidad de aplicaciones de construcción. El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a  $1,450^\circ\text{C}$  de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clinker, principal ingrediente del cemento, que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento<sup>12</sup>.

**Agregados.** Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso y fino. El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz N° 4 y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas. El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

---

<sup>11</sup> CATALAN. Op cit.

<sup>12</sup> CEMEX, Productos Servicios, Cemento.

## 5.2 METODOLOGÍA

### 5.2.1 Muestreo de los agregados

Primero se extrae la muestra del material, se busca que la muestra sea representativa: arena 60 Kilos; triturado de  $\frac{3}{4}$  = 110 Kilos para la elaboración del concreto.

Se procede al cuarteo del material de la muestra de arena y triturado y se dejan sobre una superficie plana extendidos sobre el suelo para que pierdan la humedad.

Una vez secados se combinan los agregados para homogenizarlos, se separan porciones equitativas del material en cuartas partes, buscando una representación compacta de las características de toda la muestra.

### 5.2.2 Diseño de la mezcla

Se procede a diseñar la mezcla que consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales, para producir un concreto que cumpla los requisitos estipulados para una resistencia última de 3000 psi.

**Asentamiento:** se define para un uso del concreto en un muro de contención.

**El contenido de agua:** depende de la fuente de extracción de los agregados.

**Contenido de cemento:** el contenido de cemento depende de la relación de contenido de agua necesaria para proporcionar la resistencia buscada.

**Contenido de grava y arena:** se estima con relación al análisis granulométrico de los agregados que se emplearon.

**Elaboración de especímenes y pruebas de compresión simple:** se realiza para el control de las características de diseño a través del ensayo de compresión

aplicado a cilindros con las mezclas en una proporción de 1: 1,25: 2,3 definida por el diseño de la mezcla.

Después de la elaboración, los cilindros son desmoldados después de 24 horas, pesados y puestos en proceso de curado siendo sumergidos en agua hasta que alcanzan la edad para ser ensayados.<sup>13</sup>

### **5.2.3 Tipo de investigación**

El proyecto se basa en un modelo de investigación experimental debido a que es necesario realizar en laboratorio las pruebas de resistencia de las mezclas a analizar y tiene componente descriptivo por la confrontación y el análisis de los resultados obtenidos.

### **5.2.4 Diseño de experimentos**

Los factores de estudio para la investigación fueron el porcentaje de vidrio utilizado como aditivo y la resistencia a la compresión del hormigón.

Para cada prueba a compresión se realizan nueve ensayos, siendo requeridas dos probetas para cada tipo de vidrio (molido, tamizado, granular), con una edad de curado a los 14 y 28 días, además de una probeta testigo, para cada edad.

Para determinar la magnitud de los factores a estudiar, así como la cantidad de éstos, se realiza una prueba piloto utilizando porcentaje de vidrio en relación al peso de la mezcla de 3%, 5% y 7% sobre una mezcla de concreto de resistencia media (3000 psi).

---

<sup>13</sup> Ibíd.

### **5.2.5 Población de estudio y muestra**

#### **Variables del estudio**

Resistencia a la compresión del concreto: esta variable fue medida a través del ensayo de compresión de especímenes cilíndricos, el valor obtenido se expresa en unidades de psi y/o MPa.

### **5.2.6 Recolección de la Información**

Fuentes primarias. Las fuentes primarias se encuentran conformadas por los ensayos de laboratorio que se realizaron en las instalaciones de la Universidad Libre seccional Pereira, bajo las normas ICONTEC 550 Y 673 que sirvieron para establecer los datos de la resistencia y propiedades físicas de las mezclas de concreto con vidrio.

Fuentes secundarias. Las fuentes secundarias para el desarrollo de la investigación constan de: libros, bases de datos de investigaciones relacionadas con el tema del proyecto, páginas de internet, entre otros.

## 6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan los procedimientos que permiten obtener los resultados requeridos para el logro de los objetivos:

### 6.1 DISEÑO DE MEZCLA

#### 6.1.1 Asentamiento

En la tabla número 1 se encuentran los resultados del asentamiento.

Tabla 1. Determinación de asentamiento

Uso	Asentamiento
Muro de contención	7,5 cm

Fuente: los autores

#### 6.1.2 Tamaño Máximo Nominal (TMN)

En la Tabla número 2 se encuentran los diámetros del tamiz donde se empieza a retener material y el tamiz donde pasa el 100 % del material.

Tabla 2. Elección del TMN

Tamiz	Diámetro
TM (Tamiz donde se empieza a retener material)	3/8"
TMN (Tamiz donde pasa el 100 % del material)	3/4"

Fuente: los autores

### 6.1.3 Contenido de aire

No se tiene en cuenta contenido de aire dado que el concreto no es para uso en condiciones especiales.

### 6.1.4 Agua de mezclado

En la Tabla número 3 se indican los resultados del agua de mezclado.

Tabla 3. Agua de mezclado

Cantidad	
Agua	190 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: los autores

En la tabla 4 se muestra la densidad del agua.

Tabla 4. Densidad de agua

Densidad	
Agua	1000 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: los autores

### 6.1.5 Resistencia

En la Tabla número 5 se encuentra la determinación de la resistencia. Para efectos de la presente investigación, al no contar con datos estadísticos para la determinación de la resistencia exacta, se diseña la mezcla para una resistencia a la compresión afectada por un factor de seguridad ( $f'_{cr}$ ).

Tabla 5. Determinación de la Resistencia

Resistencia	
$f'_c$	21 MPa
$f'_{cr}$	29 MPa

Fuente: los autores



### 6.1.6 Relación agua/cemento

En la Tabla número 6 se tiene la relación agua / cemento a utilizar

Tabla 6. Relación agua/cemento

Relación	
<b>A/C</b>	0,372

Fuente: los autores

### 6.1.7 Cantidad de cemento

La cantidad de cemento se indica en la Tabla número 7.

Tabla 7. Cantidad de cemento

Cantidad	
<b>Cemento</b>	510.75 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: los autores

En la Tabla 8, se señala la densidad del cemento.

Tabla 8. Densidad de cemento

Densidad	
<b>Cemento</b>	2937 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: los autores

### 6.1.8 Especificaciones agregados

Los resultados relacionados a continuación se obtienen de las pruebas de laboratorio de calidad de la empresa construcciones El Cairo. Ver Anexo A.

Las especificaciones de los agregados grueso y fino se detallan en la Tabla número 9.

Tabla 9. Especificaciones agregados

Descripción	Und	A. Grueso	A. Fino
Densidad Aparente	g/cm3	2,95	2,72
TMN	"/#	3/4"	1/2 "
Masa unitaria suelta	g/cm3	1,663	1,33
Absorción	%	1,09	2,74
Análisis granulométrico	%	65	35

Fuente: Laboratorios control de calidad empresa Construcciones el Cairo

### 6.1.9 Agregados

En la Tabla 10 se muestra el cálculo para la determinación de las cantidades de agregados por m<sup>3</sup> de concreto.

Tabla 10. Determinación de las cantidades de agregados

Volumen de agregados para 1 m <sup>3</sup>	0,636 m <sup>3</sup>
Densidad de agregados	2865,20 Kg/m <sup>3</sup>
Cantidad de agregados	1822,55
AGREGADO GRUESO	1184,66 Kg
AGREGADO FINO	637,89 Kg

Fuente: los autores

### 6.1.10 Dosificación

La dosificación del cemento, arena y triturado se describen en la Tabla número 11.

Tabla 11. Dosificación de la mezcla

Dosificación	
Cemento	1
Arena	1,25
Triturado	2,32

Fuente: los autores

## 6.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO EN LAS ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

En la tabla número 12 se detallan las cantidades utilizadas para 1 m<sup>3</sup> y para 1 cilindro.

Tabla 12. Cantidades utilizadas para 1 m<sup>3</sup> y para 1 cilindro.

Volumen para 1 cilindro		0,005301 m <sup>3</sup>
	Cantidad para 1 m <sup>3</sup> (en Kg)	Cantidad para 1 cilindro (en Kg)
Cemento	510,75	2,71
Arena	637,89 Kg	3,38
Triturado	1184,66 Kg	6,28
Agua	190	1,01
	Peso total cilindro	13,38

Fuente: los autores

En la tabla 13 se indican las cantidades utilizadas de vidrio molido por cada porcentaje establecido, 3%, 5% y 7%.

Tabla 13. Cantidades utilizadas de vidrio molido

Vidrio molido			
% en la mezcla	Cantidad por cilindro (Kg)	Cantidad de cilindros	Cantidad total vidrio (Kg)
3	0,40	2	0,80
5	0,67	2	1,34
7	0,94	2	1,87

Fuente: los autores

En la tabla 14 se encuentra las cantidades utilizadas de vidrio granular por cada porcentaje establecido, 3%, 5% y 7%.

Tabla 14. Cantidades utilizadas de vidrio granular

Vidrio molido			
% en la mezcla	Cantidad por cilindro (Kg)	Cantidad de cilindros	Cantidad total vidrio
3	0,40	2	0,80
5	0,67	2	1,34
7	0,94	2	1,87

Fuente: los autores

En la tabla 15 se encuentra las cantidades utilizadas de vidrio tamizado por cada porcentaje establecido, 3%, 5% y 7%.

Tabla 15.Cantidades utilizadas de vidrio tamizado

<b>Vidrio tamizado</b>			
<b>% en la mezcla</b>	<b>Cantidad por cilindro (Kg)</b>	<b>Cantidad de cilindros</b>	<b>Cantidad total vidrio</b>
3	0,40	2	0,80
5	0,67	2	1,34
7	0,94	2	1,87

Fuente: los autores

El resumen de la cantidad de cada material que se utilizó, se detalla en la Tabla número 16.

Tabla 16. Resumen cantidades utilizadas por cada material

<b>Cantidades de material</b>	
<b>Material</b>	<b>Cantidad en Kg</b>
Cemento	43,32
Arena	54,11
Triturado	100,49
Vidrio molido	4,01
Vidrio granular	4,01
Vidrio tamizado	4,01
Agua	16,12

Fuente: los autores

## 6.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN

### 6.3.1 Probetas testigo

En la Tabla número 17 se detallan los resultados de la probeta testigo, se evalúan dos momentos de curado a los 14 días y a los 28 días.

Tabla 17. Probetas testigo a los 14 y 28 días

Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo ultimo (Mpa)
13,3	14	214,31	17671,46	12,13
13,3	28	292,17	17671,46	16,53

Fuente: los autores

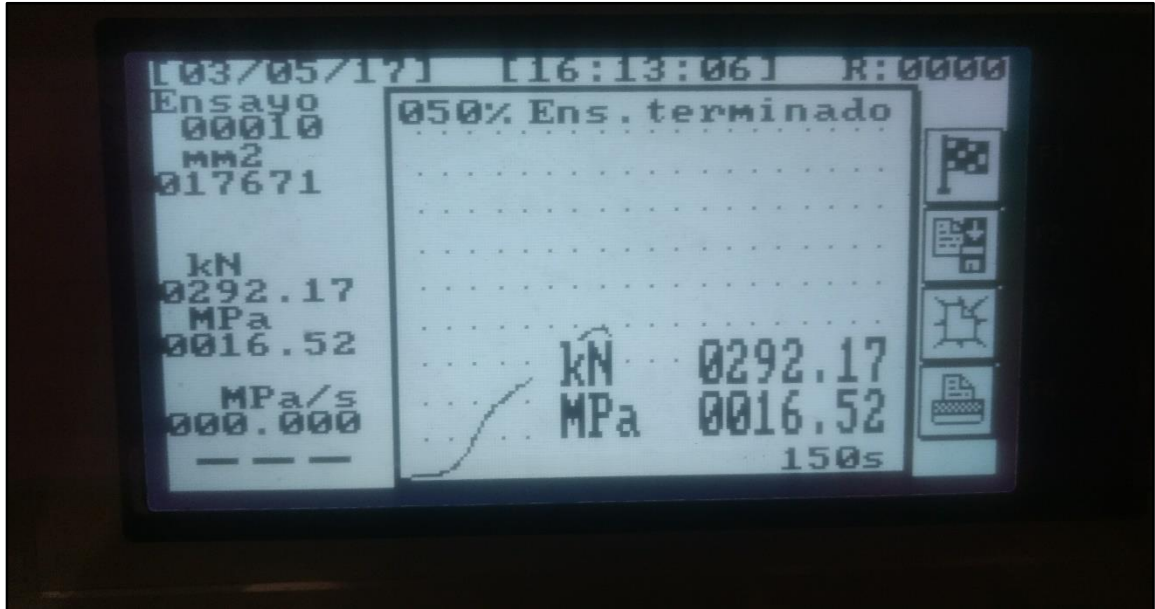
En la figura 1 se detallan los resultados de esfuerzo de compresión en la probeta testigo, tomados de la máquina de ensayo a los 14 y 28 días.

Figura 1. Resultados esfuerzo de compresión probeta testigo a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 2. Resultados esfuerzo de compresión probeta testigo a los 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 3 y 4, se aprecian la probeta testigo después del ensayo a 14 y 28 días

Figura 3. Registro fotográfico probeta testigo a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 4.Registro fotográfico probeta testigo a los 28 días



Fuente: los autores

### 6.3.2 Ensayo de compresión con vidrio molido

Se realizan ensayos de compresión de concreto utilizando diferentes porcentajes de vidrio molido, en relación al peso de la probeta al 3%, 5% y 7%, evaluando dos momentos de curado a los 14 y 28 días, los resultados se muestran en la tabla número 18.

Tabla 18. Probetas con vidrio molido a los 14 y 28 días

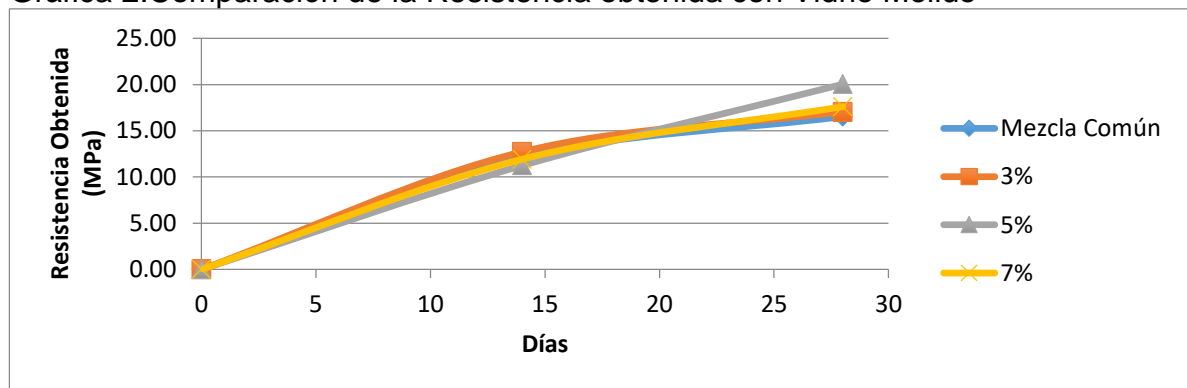
Porcentaje de vidrio	Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo ultimo (Mpa)
3	13,1	14	224,67	17671,46	12,71
5	13,1	14	198,7	17671,46	11,24
7	13,05	14	210,65	17671,46	11,92
3	13,35	28	301,36	17671,46	17,05
5	13,25	28	354,29	17671,46	20,05
7	13,25	28	310,98	17671,46	17,60

Fuente: los autores

Se tiene que la mayor resistencia se presenta para los 14 días de curado con un 3% de mezcla de vidrio molido, para los 28 días el porcentaje de mezcla que presenta mayor resistencia es al 5%.

En la gráfica 2, se presenta la comparación de resistencia obtenida con el vidrio molido frente a la mezcla común.

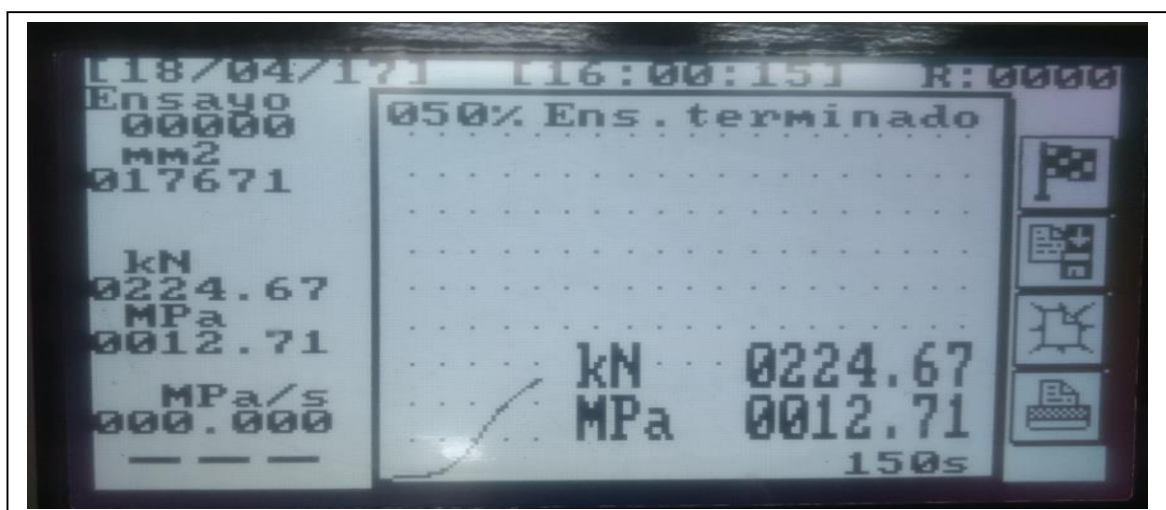
Gráfica 2. Comparación de la Resistencia obtenida con Vidrio Molido



Fuente: los autores

En las figuras 5 y 6, se aprecian los resultados de esfuerzo de compresión de la probeta con 3% de vidrio molido a los 14 y 28 días

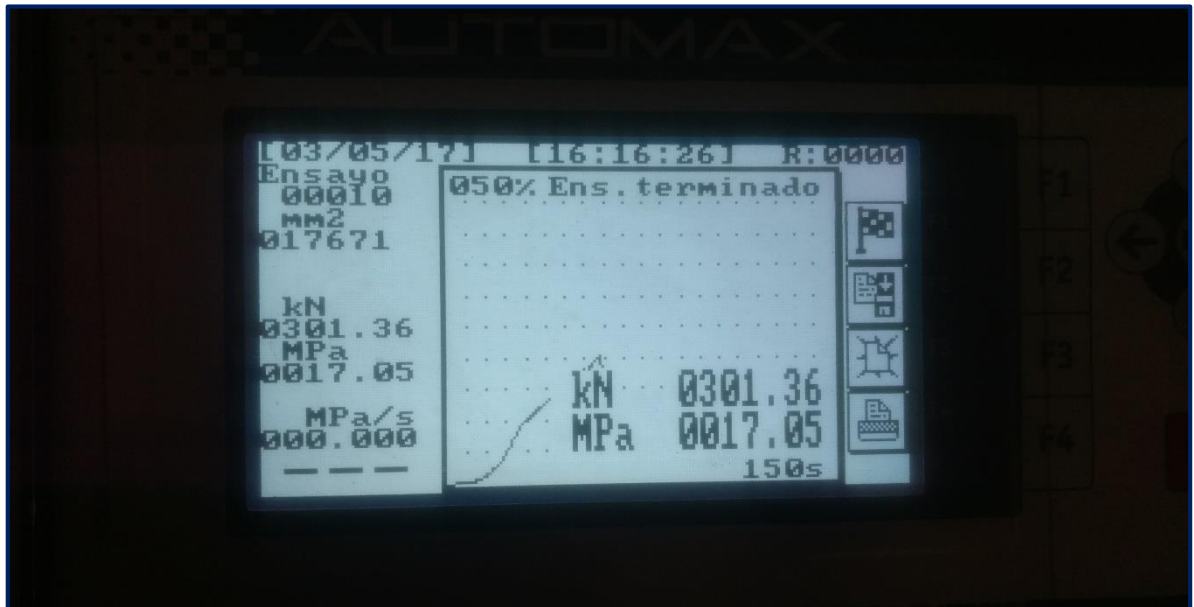
Figura 5. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio molido a los 14 días



Fuente: los autores



Figura 6. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio molido a los 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 7 y 8, se aprecia la fotografía correspondiente a la probeta con el 3% de mezcla de vidrio molido a los 14 y 28 días.

Figura 7. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio molido a los 14 días



Fuente: los autores

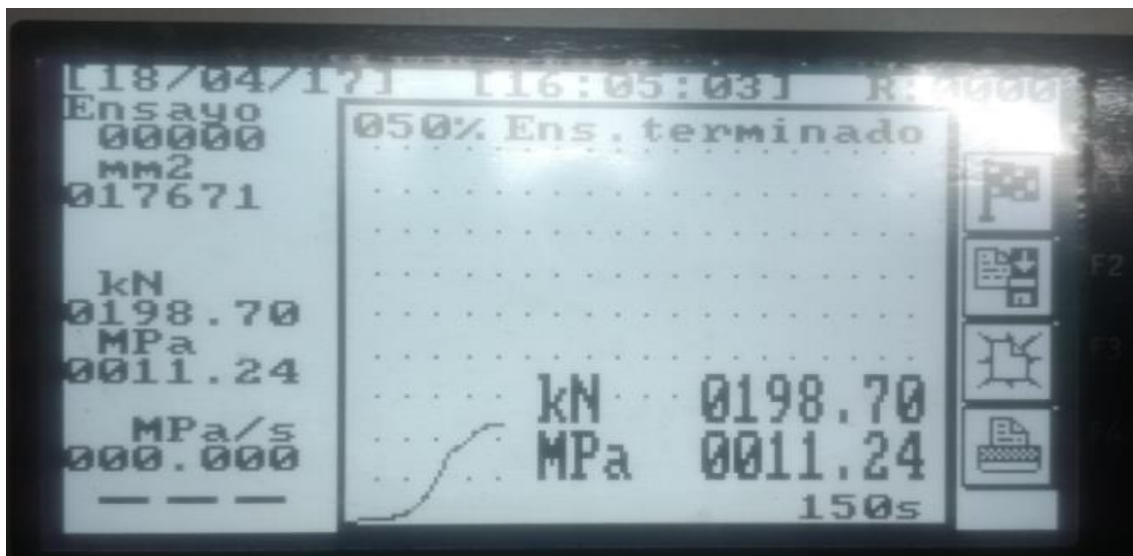
Figura 8.Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio molido a los 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 9 y 10, se detallan los resultados de esfuerzo de compresión de la probeta con 5% de vidrio molido.

Figura 9.Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio molido a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 10. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio molido a los 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 11 y 12, se encuentran el registro fotográfico de la probeta con 5% de mezcla de vidrio molido, a los 14 y 28 días.

Figura 11. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio molido a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 12. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio molido a los 28 días



Fuente: los autores

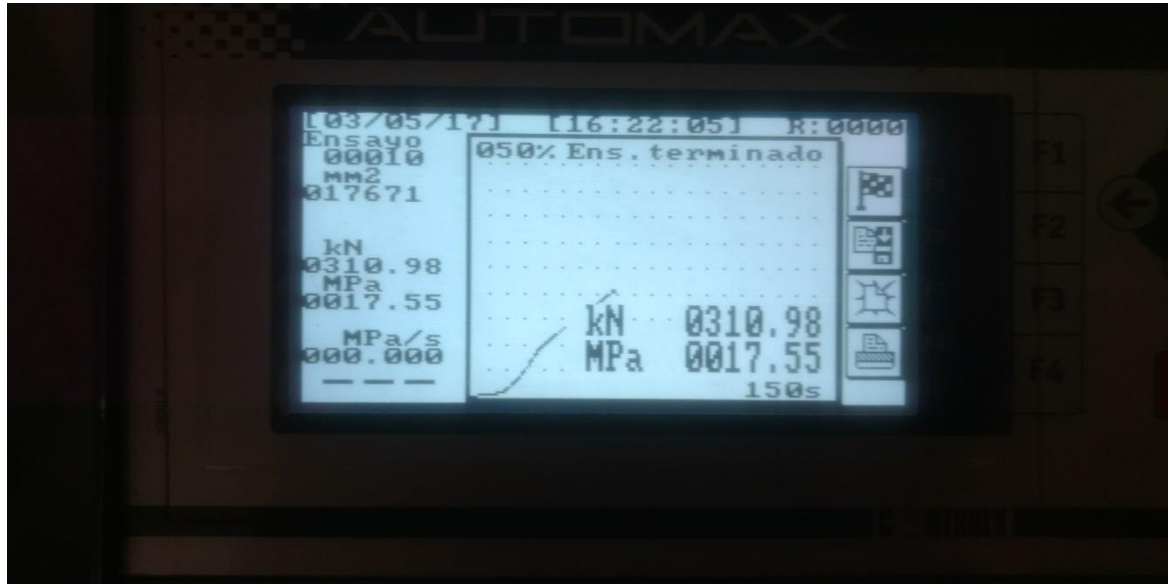
En las figuras 13 y 14 se encuentran los resultados de esfuerzo de compresión con 7% de mezcla de vidrio molido

Figura 13. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio molido a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 14. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio molido a los 28 días



Fuente: los autores

El registro fotográfico correspondiente a la probeta con el 7% de vidrio a los 14 y 28 días molido se observa en las figuras 15 y 16

Figura 15 Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio molido a los 14 días.



Fuente: los autores

Figura 16. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio molido a los 28 días



Fuente: los autores

### 6.3.3 Ensayo de compresión con vidrio tamizado

Se realizan ensayos de compresión de concreto utilizando diferentes porcentajes de vidrio tamizado, en relación al volumen de mezcla al 3%, 5% y 7%, evaluando dos momentos de curado a los 14 y 28 días, los resultados se muestran en la tabla número 18.

Tabla 19. Probetas con vidrio tamizado a los 14 y 28 días

Porcentaje de vidrio	Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo ultimo (Mpa)
3	13,8	14	321,52	17671,46	18,19
5	13,45	14	279,23	17671,46	15,80
7	13,45	14	254,29	17671,46	14,39
3	13,75	28	393,32	17671,46	22,26
5	13,7	28	294,11	17671,46	16,64
7	13,45	28	279,6	17671,46	15,82

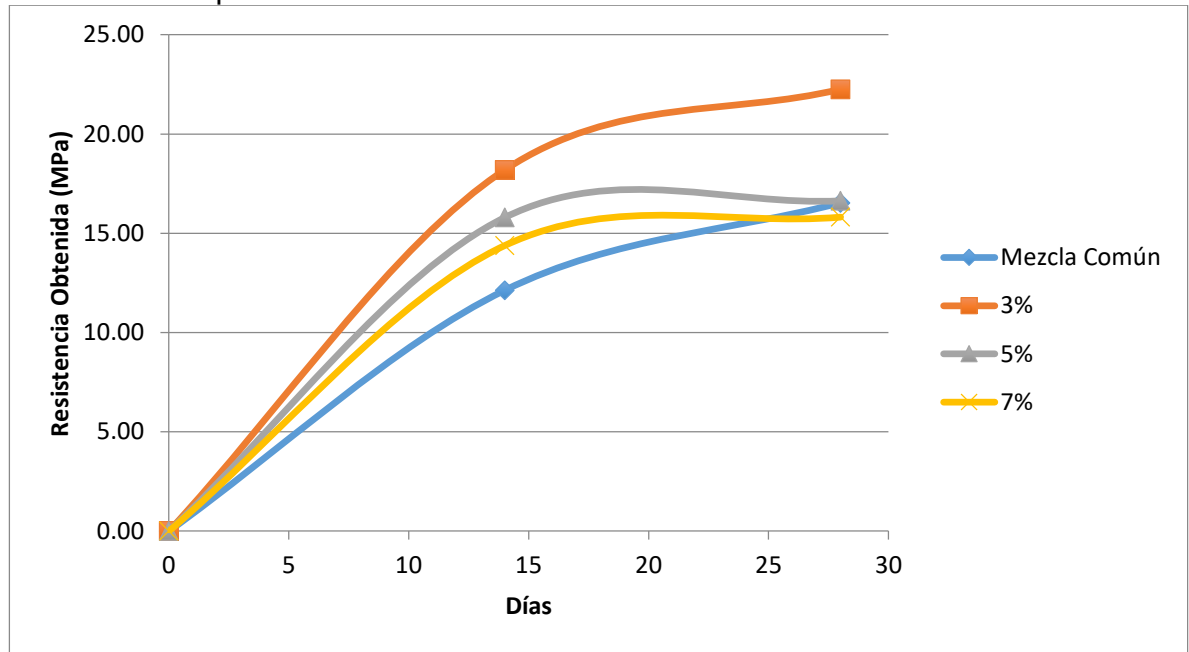
Fuente: los autores



La mayor resistencia para los 14 días y 28 días de curado, se presenta con una mezcla del concreto con vidrio tamizado al 3%.

En la gráfica número 2, se observan los resultados de la comparación de la resistencia obtenida con vidrio tamizado.

Gráfica 3.Comparación de la Resistencia obtenida con Vidrio Molido



Fuente: los autores

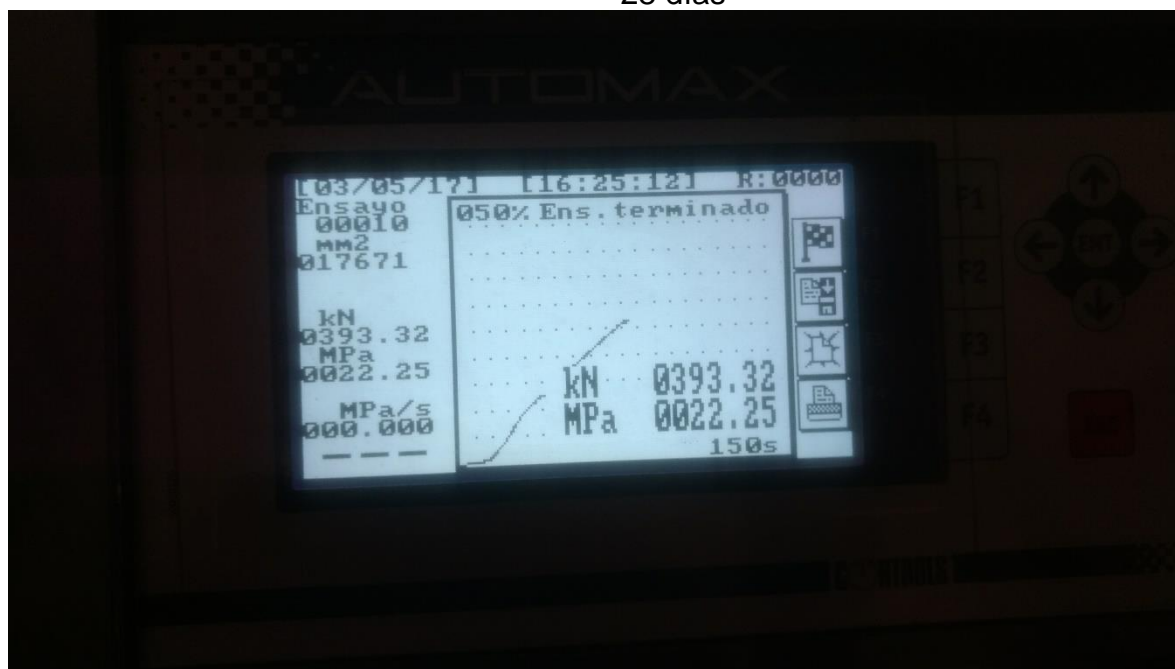
En las figuras número 17 y 18, se detallan los resultados esfuerzo de compresión de probeta mezclada con 3% de vidrio tamizado a los 14 y 28 días.

Figura 17. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio tamizado 14 días



Fuente: los autores

Figura 18. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% de vidrio tamizado 28 días



Fuente: los autores

El registro fotográfico de la probeta con 3% de vidrio tamizado se puede observar en las figuras 19 y 20 a los 14 y 28 días.



Figura 19 Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio tamizado a los 14 días



Fuente: los autores

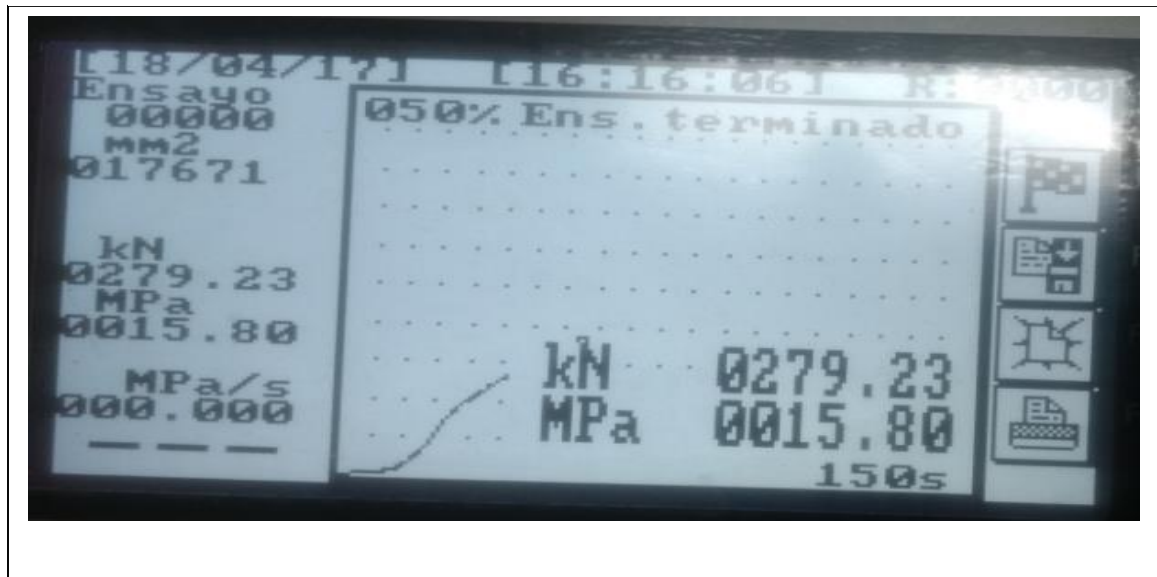
Figura 20. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio tamizado a los 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 21 y 22, se observan los resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio tamizado a los 14 y 28 días.

Figura 21. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio tamizado a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 22. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio tamizado a los 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 23 y 24, se tienen el registro fotográfico de la probeta con 5% de vidrio tamizado a los 14 y 28 días.

Figura 23. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio tamizado a los 14 días



Fuente: los autores

Figura 24. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio tamizado a los 28 días



Fuente: los autores

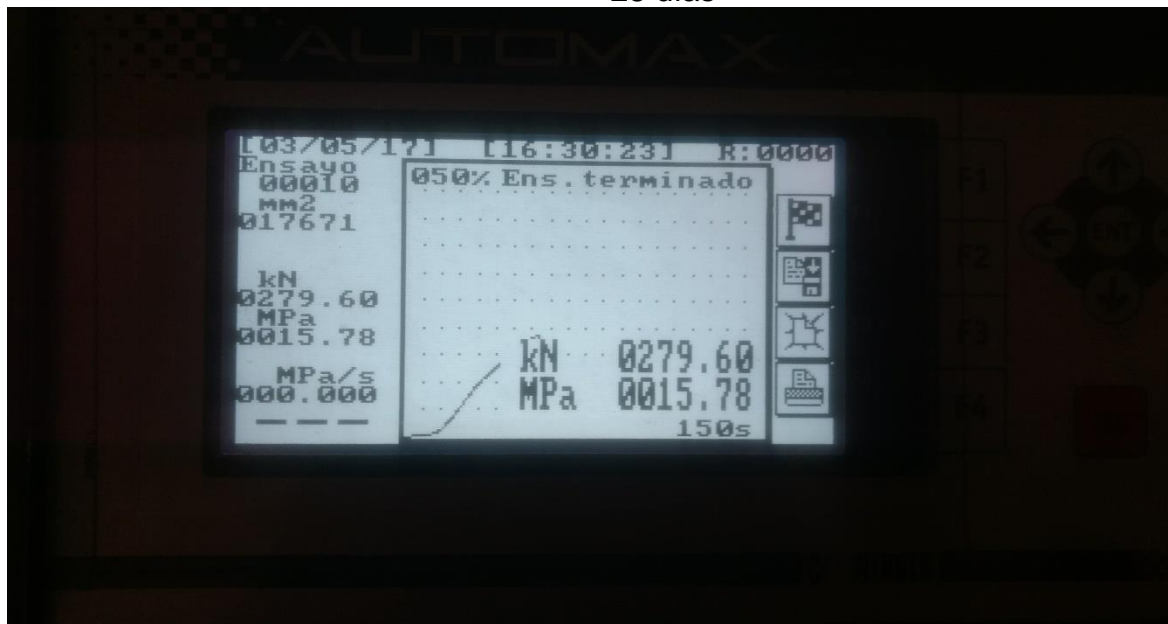
En las figuras 25 y 26, se observan los resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio tamizado a los 14 y 28 días.

Figura 25. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio tamizado, 14 días



Fuente: los autores

Figura 26. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio tamizado, 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 27 y 28, se tiene el registro fotográfico de la probeta con 7% de vidrio tamizado. A los 14 y 28 días

Figura 27. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio tamizado a 14 días



Fuente: los autores

Figura 28. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio tamizado a 28 días



Fuente: los autores

### 6.3.4 Ensayo de compresión con vidrio granular

Se realizan ensayos de compresión de concreto utilizando diferentes porcentajes de vidrio granular, en relación al volumen de mezcla al 3%, 5% y 7%, evaluando dos momentos de curado a los 14 y 28 días, los resultados se muestran en la tabla número 20.

Tabla 20. Probetas con vidrio granular a los 14 y 28 días

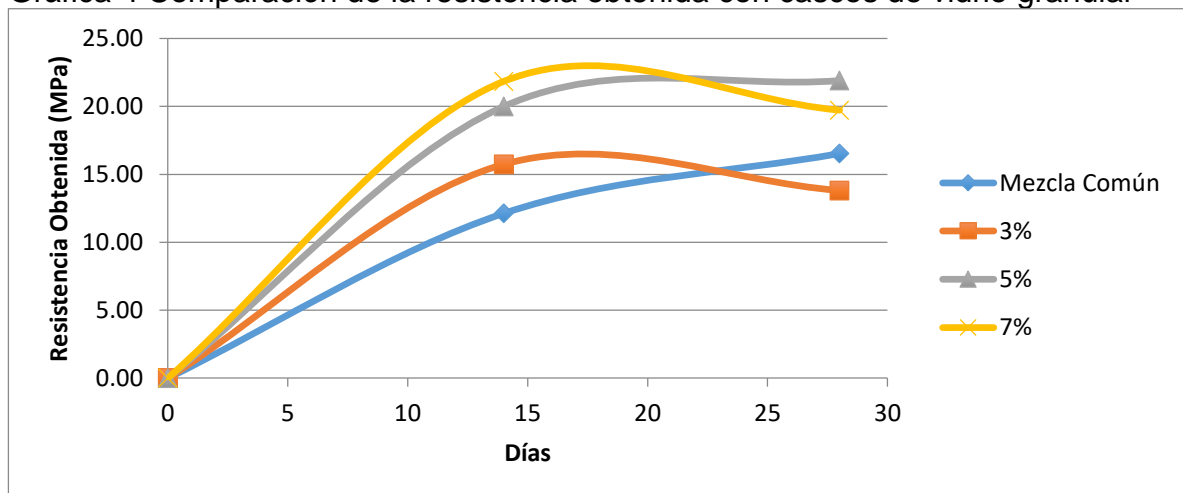
Porcentaje de vidrio	Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo ultimo (Mpa)
3	13,15	14	278,11	17671,46	15,74
5	13,15	14	353,38	17671,46	20,00
7	13,3	14	386,02	17671,46	21,84
3	13,3	28	244,04	17671,46	13,81
5	13,4	28	387,07	17671,46	21,90
7	13,35	28	348,64	17671,46	19,73

Fuente: los autores

La mayor resistencia se presenta a los 28 días con un porcentaje del 5% de vidrio granular, para el día 14 la mayor resistencia se da con el 7%.

En la gráfica número 3, se detallan los resultados de la comparación de la resistencia obtenida con vidrio granular.

Gráfica 4 Comparación de la resistencia obtenida con cascots de vidrio granular

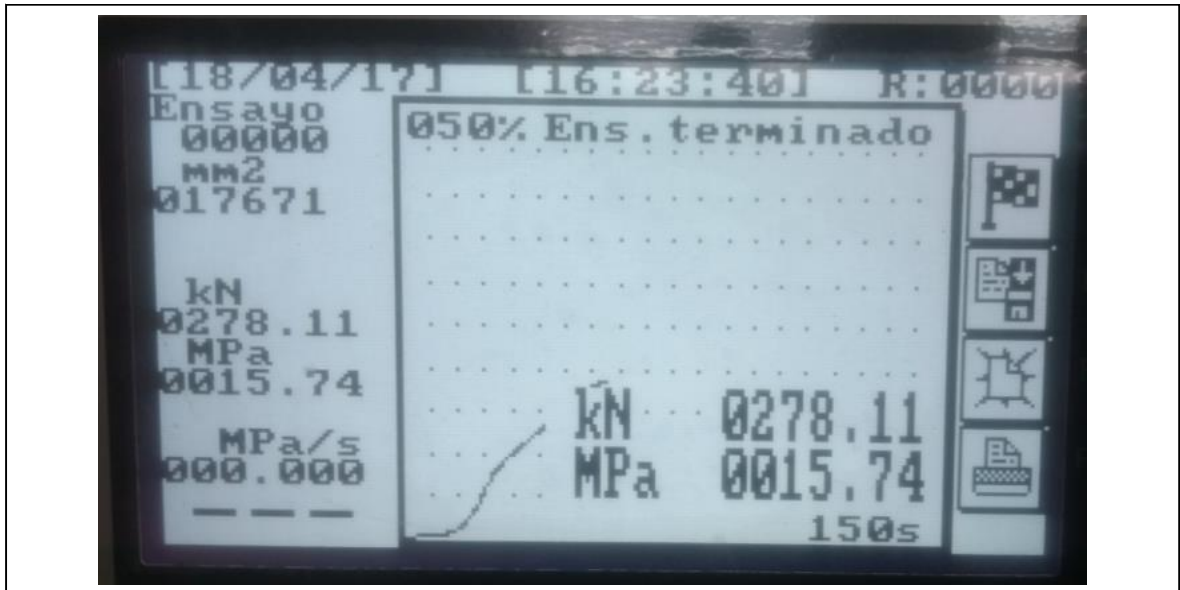


Fuente: los autores



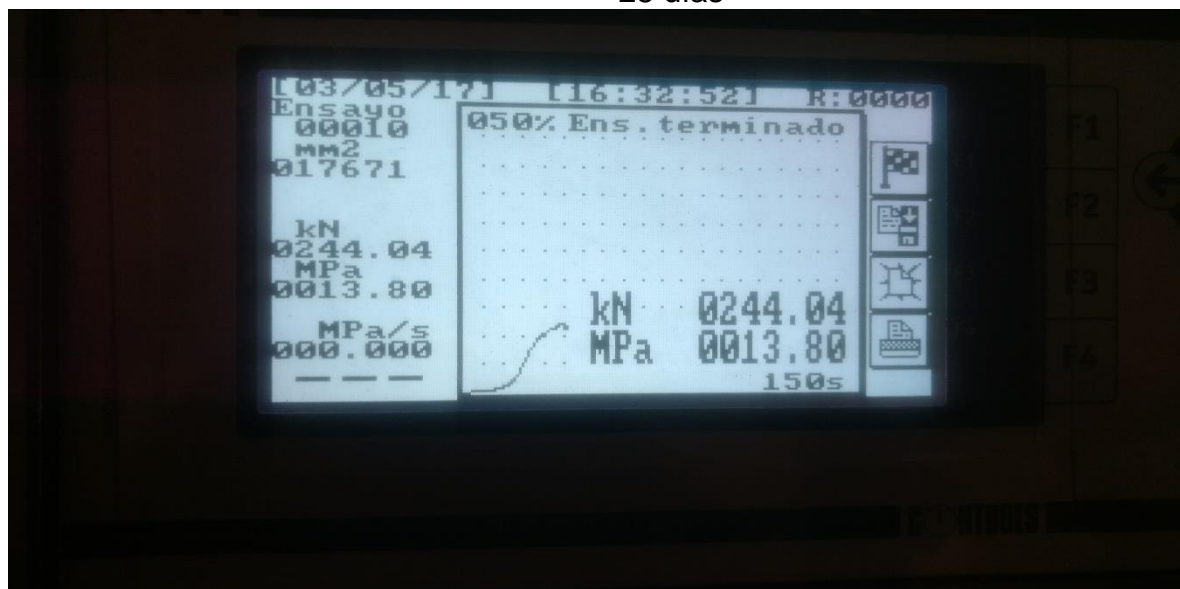
Los resultados del ensayo de esfuerzo de compresión probeta con 3% vidrio granular, se observan en las figuras 29 y 30 a 14 y 28 días

Figura 29. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% vidrio granular a 14 días



Fuente: los autores

Figura 30. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 3% vidrio granular a 28 días



Fuente: los autores

El registro fotográfico de la probeta con 3% de vidrio granular se observa en las figuras 31 y 32 a 14 y 28 días.

Figura 31. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio granular a 14 días



Fuente: los autores

Figura 32. Registro fotográfico probeta con 3% de vidrio granular reciclado a 28 días



Fuente: los autores



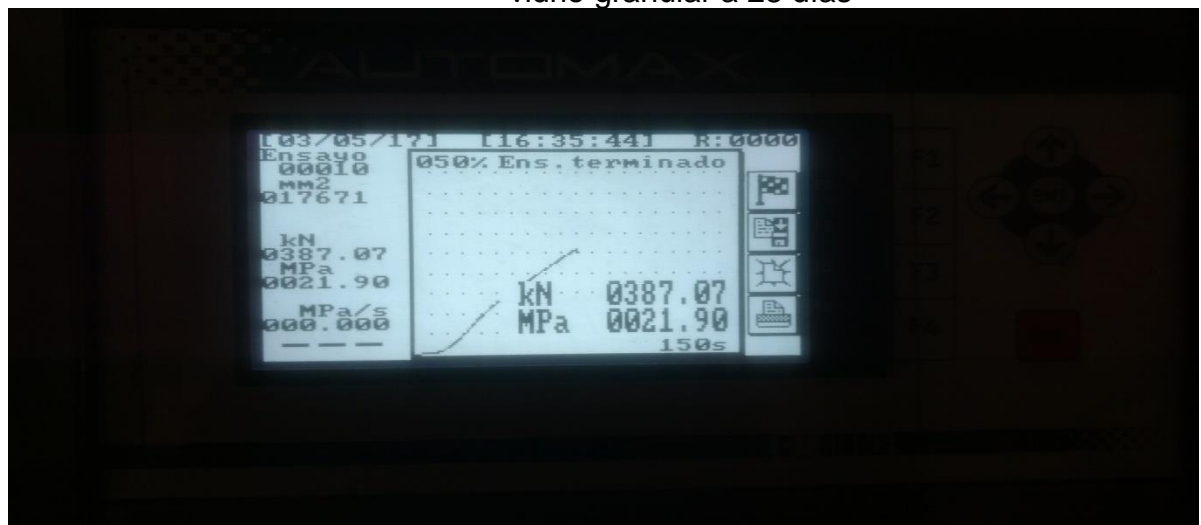
En las figuras 33 y 34 se presentan los resultados esfuerzo de compresión probeta con el 5% de mezcla de cascos de vidrio granular a 14 y 28 días

Figura 33. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de vidrio granular a 14 días



Fuente: los autores

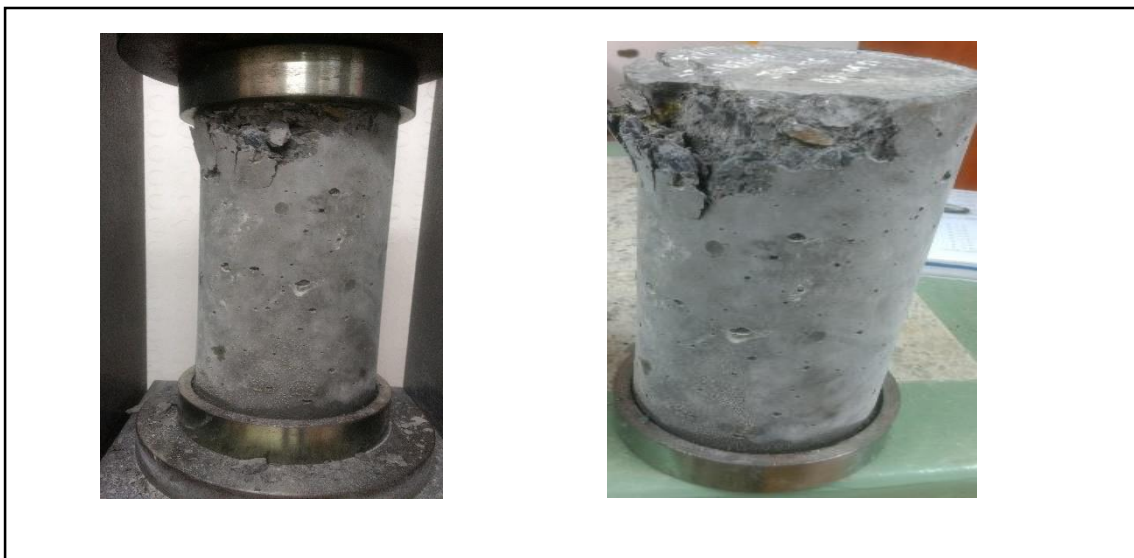
Figura 34. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 5% de cascos de vidrio granular a 28 días



Fuente: los autores

En las figuras 35 y 36 se pueden observar fotografías de las probetas con 5% de vidrio granular a 14 y 28 días

Figura 35. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio granular a 14 días



Fuente: los autores

Figura 36. Registro fotográfico probeta con 5% de vidrio granular 28 días



Fuente: los autores

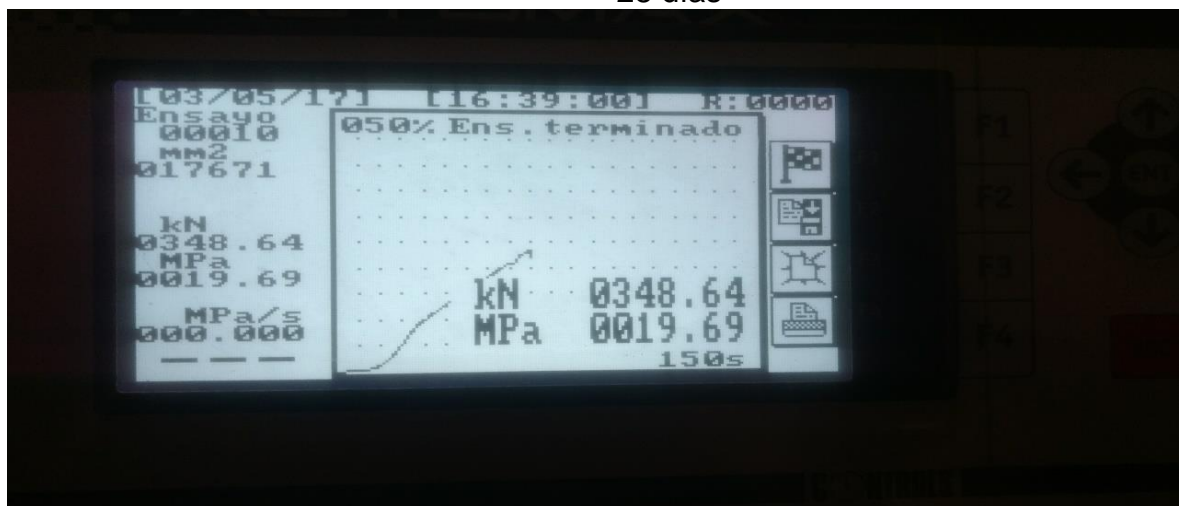
En las figuras 37 y 38 se detallan los resultados del esfuerzo de compresión probeta con 7% vidrio granular.

Figura 37. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio granular a 14 días



Fuente: los autores

Figura 38. Resultados esfuerzo de compresión probeta con 7% de vidrio granular a 28 días



Fuente: los autores

Las fotografías de la probeta con 7% de mezcla de vidrio granular se observan en las figuras 39 y 40 a 14 y 28 días.

Figura 39. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio granular a 14 días



Fuente: los autores

Figura 40. Registro fotográfico probeta con 7% de vidrio granular a 28 días



Fuente: los autores

#### 6.4 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA DE LA MEZCLA COMÚN CON LAS MEZCLAS CON PROPORCIONES DE VIDRIO MOLIDO, TAMIZADO Y GRANULADO

A continuación, se encuentran los resultados de resistencia a la compresión comparados entre la mezcla común y los tres tipos de aditivos empleados para el estudio: vidrio molido, vidrio tamizado y vidrio granular; el resultado final de la mezcla normal no alcanzó la resistencia de diseño calculada en 21 MPa.

La tabla 21 muestra la comparación de la resistencia de las probetas con vidrio molido Vs Mezcla común.

Tabla 21. Comparación resistencia probetas con vidrio molido Vs Mezcla normal

<b>PROBETAS CON VIDRIO MOLIDO</b>							
<b>% de vidrio</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Carga ultima (KN)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo ultimo (Mpa)</b>	<b>% Obtenido</b>	<b>Comparación con Mezcla normal</b>
<b>Mezcla común</b>	13,3	14	214,31	17671,46	12,13	57,75%	
	13,3	28	292,17	17671,46	16,53	78,73%	
<b>3</b>	13,1	14	224,67	17671,46	12,71	60,54%	104,83%
<b>3</b>	13,35	28	301,36	17671,46	17,05	81,21%	103,15%
<b>5</b>	13,1	14	198,7	17671,46	11,24	53,54%	92,72%
<b>5</b>	13,25	28	354,29	17671,46	20,05	95,47%	121,26%
<b>7</b>	13,05	14	210,65	17671,46	11,92	56,76%	98,29%
<b>7</b>	13,25	28	310,98	17671,46	17,60	83,80%	106,44%

Fuente: los autores

Para el vidrio molido, en el ensayo de las 3 probetas a los 14 días, solo con el 3% de vidrio superó la resistencia de la probeta de mezcla normal, por el contrario, las probetas ensayadas a los 28 días, en todos los porcentajes usados se superó el resultado obtenido por parte de la probeta de mezcla normal.

La tabla 22 muestra la comparación de la resistencia de las probetas con vidrio tamizado Vs Mezcla normal.

Tabla 22. Comparación resistencia probetas con vidrio tamizado Vs Mezcla normal

PROBETAS CON VIDRIO TAMIZADO							
Porcentaje de vidrio	Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Area (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo ultimo (Mpa)	% Obtenido	Comparación con Mezcla normal
<b>Mezcla común</b>	13,3	14	214,31	17671,46	12,13	57,75%	
	13,3	28	292,17	17671,46	16,53	78,73%	
<b>3</b>	13,8	14	321,52	17671,46	18,19	86,64%	150,03%
<b>3</b>	13,75	28	393,32	17671,46	22,26	105,99%	134,62%
<b>5</b>	13,45	14	279,23	17671,46	15,80	75,24%	130,29%
<b>5</b>	13,7	28	294,11	17671,46	16,64	79,25%	100,66%
<b>7</b>	13,45	14	254,29	17671,46	14,39	68,52%	118,66%
<b>7</b>	13,45	28	279,6	17671,46	15,82	75,34%	95,70%

Fuente: los autores

Para el vidrio tamizado, el ensayo de las 3 probetas a los 14 días, en todos los porcentajes usados de vidrio los resultados de la resistencia fueron superiores ampliamente al de la probeta de mezcla normal, caso similar sucede con las probetas ensayadas a los 28 días, en todos los porcentajes usados se superó el resultado obtenido por parte de la probeta de mezcla normal excepto con el 7% de vidrio tamizado que presenta un 95% de la resistencia de la mezcla normal.

La tabla 23 muestra la comparación de la resistencia de las probetas con vidrio granular Vs Mezcla normal.

Tabla 23. Comparación resistencia probetas con vidrio granular Vs Mezcla normal

Porcentaje de vidrio	PROBETAS CON VIDRIO GRANULAR						
	Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerz o ultimo (Mpa)	% Obtenido	comparación con Mezcla normal
<b>Mezcla común</b>	13,3	14	214,31	17671,46	12,13	57,75%	
	13,3	28	292,17	17671,46	16,53	78,73%	
<b>3</b>	13,15	14	278,11	17671,46	15,74	74,94%	129,77%
<b>3</b>	13,3	28	244,04	17671,46	13,81	65,76%	83,53%
<b>5</b>	13,15	14	353,38	17671,46	20,00	95,22%	164,89%
<b>5</b>	13,4	28	387,07	17671,46	21,90	104,30%	132,48%
<b>7</b>	13,3	14	386,02	17671,46	21,84	104,02%	180,12%
<b>7</b>	13,35	28	348,64	17671,46	19,73	93,95%	119,33%

Fuente: los autores

Para el vidrio granular, el ensayo de las 3 probetas a los 14 días, en todos los porcentajes usados los resultados de la resistencia fueron superiores ampliamente al de la probeta de mezcla normal, de igual forma sucedió con las probetas ensayadas a los 28 días, en todos los porcentajes usados se superó el resultado obtenido por parte de la probeta de mezcla normal excepto con el 3% de vidrio granular que presenta un 83,53% de la resistencia de la mezcla normal.



## 6.5 COMPARACIÓN DE LOS PESOS DE LA MEZCLA COMÚN CON LAS MEZCLAS CON PROPORCIONES DE VIDRIO MOLIDO, TAMIZADO Y GRANULADO.

Tabla 24. Pesos de especímenes de concreto ensayados a los 14 días

MEZCLA	PESO	f' c
Mezcla Común	13,30 Kg	12,13 MPa
3 % Molido	13,10 Kg	12,71 MPa
5 % Molido	13,10 Kg	11,24 MPa
7 % Molido	13,05 Kg	11,92 MPa
3 % Tamizado	13,80 Kg	18,16 MPa
5 % Tamizado	13,45 Kg	15,80 MPa
7 % Tamizado	13,45 Kg	14,39 MPa
3 % Granular	13,15 Kg	15,74 MPa
5 % Granular	13,15 Kg	19,99 MPa
7 % Granular	13,30 Kg	21,84 MPa

Fuente: los autores

Tabla 25. Pesos de especímenes de concreto ensayados a los 28 días

MEZCLA	PESO	f' c
Mezcla Común	13,30 Kg	16,52 MPa
3 % Molido	13,35 Kg	17,05 MPa
5 % Molido	13,25 Kg	20,05 MPa
7 % Molido	13,25 Kg	17,55 MPa
3 % Tamizado	13,75 Kg	22,25 MPa
5 % Tamizado	13,70 Kg	16,63 MPa
7 % Tamizado	13,45 Kg	15,78 MPa
3 % Granular	13,30 Kg	13,80 MPa
5 % Granular	13,40 Kg	21,90 MPa
7 % Granular	13,35 Kg	19,73 MPa

Fuente: los autores



## **7. CONCLUSIONES**

Una vez analizados y confrontados los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto se pudo concluir que, como se planteó en la hipótesis, las probetas que contenían vidrio en cualquiera de las presentaciones y los porcentajes de estudio, alcanzaron una resistencia mayor a las probetas testigo de mezcla común.

La mezcla ideal para cada tipo de vidrio se define como la mezcla en la cual la adición de vidrio maximiza la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto, en este sentido después de analizar los resultados del proceso de los laboratorios se determina que:

La mezcla ideal para las probetas con adición de vidrio molido es la que contiene una proporción en peso del 5%; en el caso de la mezcla con adición de vidrio tamizado, la mezcla ideal la representa la que contiene una proporción en peso del 3% y entre tanto al utilizar vidrio granular como aditivo, la mezcla ideal se alcanza con una proporción en peso del 5%. Desde un punto de vista general, la mezcla ideal con la que se alcanza la máxima resistencia a la compresión de todo el estudio es la mezcla con 3% en peso de vidrio tamizado.

Se determina que los resultados en conjunto para los tres tipos de vidrio utilizados como aditivo en la mezcla de concreto en estudio no muestran un patrón de respuesta homogéneo, dado a que la acomodación final del vidrio en la probeta en el momento del ensayo puede influir directamente en la falla temprana del espécimen y por lo tanto representar una resistencia a la compresión menor.

Analizando los resultados obtenidos del peso de las probetas con vidrio con respecto a las de mezcla común, se concluye que la adición de vidrio en diferentes porcentajes genera un leve aumento en el peso del concreto, lo que se entiende como un comportamiento normal por tratarse de un material adicional a la mezcla común. Sin embargo, el porcentaje de aumento en el peso del concreto comparado con el aumento en la resistencia del mismo, no reviste gran impacto si se observa desde el punto de vista del beneficio que el vidrio le otorga a las propiedades mecánicas del material.

## **8. RECOMENDACIONES**

Obtener el valor del módulo de elasticidad es de la mayor importancia en este tipo de proyectos.

El método que se ha venido utilizando en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad, no es el más adecuado toda vez que presenta falencias en la obtención de los datos de las deformaciones, se recomienda entonces que estas mediciones se hagan con la utilización de calibres extensiométricos (strain gages).

Esta recomendación es muy importante puesto que el Módulo de Elasticidad de Young es directamente proporcional a las características del agregado grueso, y más directamente sobre su durabilidad pues, la contracción por secado será mayor, esto quiere decir entonces que a mayor agregado grueso es mayor el módulo de elasticidad y mayor la capacidad de deformación.

Así mismo, debe tenerse cuidado en las futuras mezclas de concreto con otros elementos, que las cantidades de estos que se agreguen no pueden ir, restándole esa misma cantidad a los agregados gruesos, ya que estos son los responsables de la resistencia del concreto.

Es muy importante de acuerdo a los resultados seguir explorando esta línea de investigación, tomando porcentajes que estén dentro de los que mejores resultados han dado tanto en peso como en resistencia última. Se debe tener especial cuidado en la hidratación del concreto ya que el vidrio no absorbe agua y a su vez está desplazando algún material tanto de gruesos como de finos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

CARRILLO, Julián, ALCOCER, Sergio M., & APERADOR. INGENIERÍA INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA, VOLUMEN XIV (NÚMERO 2): 285-298- Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo. ABRIL-JUNIO 2013

CATALAN J.; Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado h15, h20, y h30; Valdivia (Chile) 2013. [En línea] [Citado el: 2 de Febrero de 2017.] <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfccic357e/doc/bmfccic357e.pdf>

CEMEX. Cemento. sf. En línea] [Citado el: 4 de Febrero de 2017.] <http://archive.cemex.com/ES/ProductosServicios.aspx>

CORTES E. y PERILLA J.; Estudio comparativo de las características físico - mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I; Bogotá (Colombia) 2014

ICONTEC, NTC 673: Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto,2010.

ICONTEC, NTC 550: Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra,2000.

JIMÉNEZ BOHÓRQUEZ, Jonny; Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique); Bogotá D.C 2011. [En línea] [Citado el: 4 de febrero de 2017.] <https://es.scribd.com/document/142003529/Usode-materiales-alternativos-para-mejorar-las-propiedades-mecA-nicas-del-concreto-Fibra-de-Fique>

MACEDO, M C; Compuesto de yeso e Icopor para la construcción de casas populares; Natal - Brasil (2011) [En línea] [Citado el: 2 de Mayo de 2017.] [http://search.proquest.com/cv\\_791920/docview/1115566732/13DE70EE2263F2AD49/46?accountid=46889](http://search.proquest.com/cv_791920/docview/1115566732/13DE70EE2263F2AD49/46?accountid=46889)

MINVIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR10. 2012


PERIODICO EJE 21. sf. Más de 30 fallas geológicas cruzan por Risaralda. [En línea] sf. [Citado el: 2 de Mayo de 2017.] <http://www.eje21.com.co/2013/01/mas-de-30-fallas-geologicas-cruzan-por-risaralda/>.

QUINTERO GARCÍA, Sandra & GONZALES SALCEDO, Luis; Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto; Cali – Colombia 2006. [En línea]. [Citado el: 3 de Febrero de 2017.] [http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria\\_desarrollo/20/uso\\_de\\_la\\_fibra\\_de\\_coco.pdf](http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/uso_de_la_fibra_de_coco.pdf)


## 10. ANEXOS

### Anexo A: Pruebas laboratorio de calidad de agregados empresa Constructora El Cairo


EL CAIRO		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			RE CQ 04	
		ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO			Versión 1	
		INV E- 230				
CLIENTE					FECHA:	Enero 25 de 2017
OBRA					FUENTE:	Rio Risaralda
MATERIAL	AGREGADO DE 3/4"					
Tamaño	Gradación original	Peso muestra	Peso material con alargamiento	Índice de alargamiento	Alargamiento corregido	
	(%)	(g)	(g)	(%)	(%)	
2" - 1 1/2"						
1 1/2" - 1"						
1" - 3/4"						
3/4" - 1/2"	15,1	436	105,3	24,2	365,4	
1/2" - 3/8"	14,7	423	85,6	20,2	297,0	
3/8" - 1/4"	6,5	186	10,9	5,9	37,8	
TOTAL	36,3				700,2	
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO (%)			<b>19</b>			
Tamaño	Gradación original	Peso muestra	Peso material	Índice de alargamiento	Aplanamiento	
	(%)	(g)	(g)	(%)	(%)	
2" - 1 1/2"						
1 1/2" - 1"						
1" - 3/4"						
3/4" - 1/2"	15,1	436	65,2	15,0	226,2	
1/2" - 3/8"	14,7	423	56,7	13,4	196,7	
3/8" - 1/4"	6,5	186	9,4	5,1	32,6	
TOTAL	36,3				455,6	
ÍNDICE DE APLANAMIENTO (%)			<b>13</b>			
OBSERVACIONES:			ESPECIFICACIONES INVIAS 2013			
			DESCRIPCIÓN		NORMA(MAX)	
			Índ. Alargamiento		25%	
		Índ. Aplanamiento		25%		



ELABORÓ



REVISÓ

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	RE CQ 04 A
	ENSAYO DE PARTICULA PLANAS Y ALARGADAS (RELACIÓN 5:1)	
	INV.E-240	Versión 1

CLIENTE		Fecha:	Enero 25 de 2017
OBRA		Procedencia:	Rio Risaralda
MATERIAL	Agregado de 3/4		


TAMAÑO DE LA FRACCION	peso material gradacion original	Gradación Original	Muestra de ensayo	partículas planas y alargadas	partículas planas y alargadas	partículas planas y alargadas corregidas.
	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(%)
1"-3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"-1/2"	969,3	33,6	969,3	13,6	1,4	47,2
1/2"-3/8"	1027,1	35,6	1027,1	5,2	0,5	18,0
3/8"-No4	186,0	6,5	186,0	1,1	0,6	3,8
Totales	2182,4	75,7				69,0

Ensayo de partículas planas y Alargadas (%) 0,9

Observaciones:	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007 ARTICULO 400	
	Agregados para concreto	10 (%) MAX
	Mezcla abierta en frío	10 % máximo
	mezcla densa en frío	10 % máximo
	Mezcla densa, semidensa y gruesa en caliente	10 % máximo
	Mezcla discontinua en caliente	10 % máximo
	Mezcla drenante	10 % máximo
	Reciclado del pavimento existente (material de adición)	10 % máximo
	Mezcla de alto módulo	10 % máximo

  
ELABORÓ

  
REVISÓ

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	<b>RE CQ 05</b> Versión 1
	ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA INV E - 133	

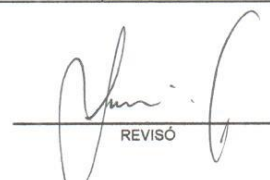
Cliente: _____ Proyecto: _____ Material: <u>Arena lavada</u>	Fecha: <u>Enero 25 de 2017</u> Procedencia: <u>Rio Risaralda</u>
--	---

ENSAYO	1	2	3	PROMEDIO
Lectura nivel de arena (mm)	88,0	86,0	83,0	81
Lectura nivel de arcilla (mm)	105,0	108,0	106,0	
Equivalente de arena (%)	84	80	78	

EQUIVALENTE DE ARENA (%) 81

OBSERVACIÓN muestra tomada de la trituradora COMEC	ESPECIFICACION INVIAS 2013	
	MATERIAL	MINIMO (%)
	Agregado fino concreto	60
	Mezcla densa caliente	50
	subbase granular	25
	Base granular	30
	Sello arena	50

  
 ELABORÓ

  
 REVISÓ

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		<b>RE CQ 17</b> Versión 2				
	CONTENIDO MATERIA ORGANICA						
	INVIAS E - 212						
Cliente: _____ Proyecto: _____ Material: <u>Arena lavada</u>	Fecha: <u>Enero 25 de 2017</u> Procedencia: <u>Rio Risaralda</u>						
<b>Solución o referencia</b>	<b>Contenido de materia orgánica</b>	<b>Resultado</b>					
0	Aceptable no contiene						
0 a 1	Aceptable						
1 a 2	Aceptable	<b>X</b>					
2 a 3	Aceptable						
3 a 4	Inaceptable						
4 a 5	Inaceptable						
Observaciones: NINGUNA		<b>ESPECIFICACIONES</b> <table border="1"> <tr> <td><b>MATERIAL</b></td> <td><b>MAXIMO</b></td> </tr> <tr> <td>Agregados fino para concreto</td> <td>3</td> </tr> </table>		<b>MATERIAL</b>	<b>MAXIMO</b>	Agregados fino para concreto	3
<b>MATERIAL</b>	<b>MAXIMO</b>						
Agregados fino para concreto	3						

  
Elaboró

  
reviso



	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE</b>		<b>RE CQ 02</b>
	<b>ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS</b>		
	<b>INV E - 227</b>		
			Versión 1

CLIENTE _____	FECHA: <b>Enero 25 2017</b>
OBRA _____	
MATERIAL <b>AGREGADO DE 3/4"</b>	FUENTE: <b>Rio Risaralda</b>

Fracciones		Muestra inicial	Material caras	Caras fracturadas	Gradación original	Corregido
Pasa	Retiene					
		(g)	(g)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	1"	0,0	0,0			
1"	3/4 "	0,0	0,0			
3/4 "	1/2"	969,3	689,2	71,1%	33,6	23,9
1/2"	3/8 "	1027,1	729,6	71,0%	35,6	25,3
TOTAL					69,3	49,2

<b>CARAS FRACTURADAS (%)</b>	<b>71,1</b>
------------------------------	-------------

OBSERVACIONES :	ESPECIFICACIONES invias 2013	
	MATERIAL	NORMA
	TRITURADO CONCRETO	<b>60 % Min</b>
	BASE GRANULAR	<b>70 % Min</b>
	MEZCLA MDC	Caras Fracturadas <b>85 % Min</b>
		2 ó Mas Caras <b>75 % Min</b>

  
 ELABORÓ

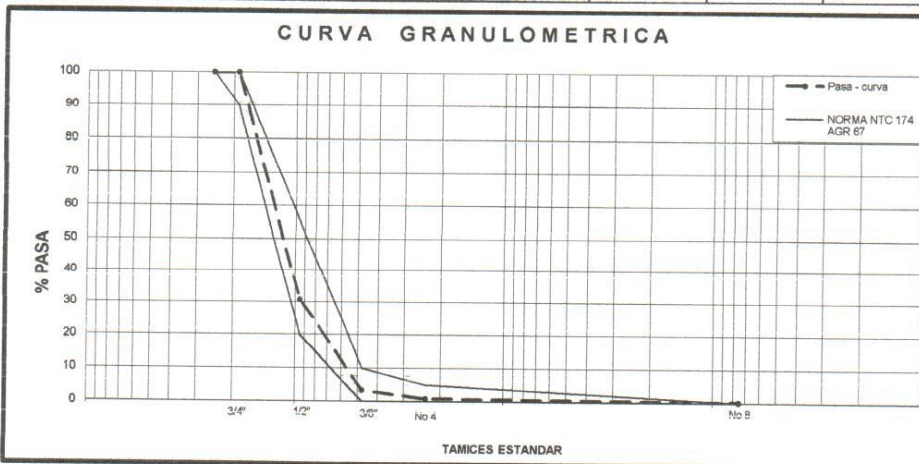
  
 REVISÓ

<b>EL CAIRO</b> <small>Construcciones</small>	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	<b>RE CQ 01</b> <small>Versión 1</small>
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	

Cliente: ---	Fecha: <b>Enero 25 de 2017</b>
Proyecto: ---	
Material: <b>Triturado de 3/4"</b>	Procedencia: <b>Río Risaralda</b>

Peso inicial muestra húmeda (g)	<b>2934</b>	humedad (%)	<b>1,80</b>	Peso inicial muestra seca (g)	<b>2882</b>
---------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------------------------	-------------

TAMIZ		Peso Ret. (g)	Retenido (%)	Ret. acum (%)	Pasa - curva (%)	NORMA NTC 174 AGR 67	
No.	Aber.(mm)					Mín	Máx
1"	25,000	0	0,0	0	100	100	100
3/4"	19,000	0	0,0	0	100,0	90	100
3/8"	9,510	1996,4	69,3	69,3	30,7	20	55
No 4	4,760	789,5	27,4	96,7	3,3	0	10
No 8	2,360	74,9	2,6	99,3	0,7	0	5
No 200	0,075	16,7	0,6	99,8	0,2	0	0
pasa 200		4,6	0,2	100,0	0,0		



OBSERVACIÓN: Ninguna	Peso seco material	<b>2882</b>
	Diferencia	<b>5</b>
	% Pasa tamiz 200	<b>0,16</b>

*[Signature]*  
ELABORÓ

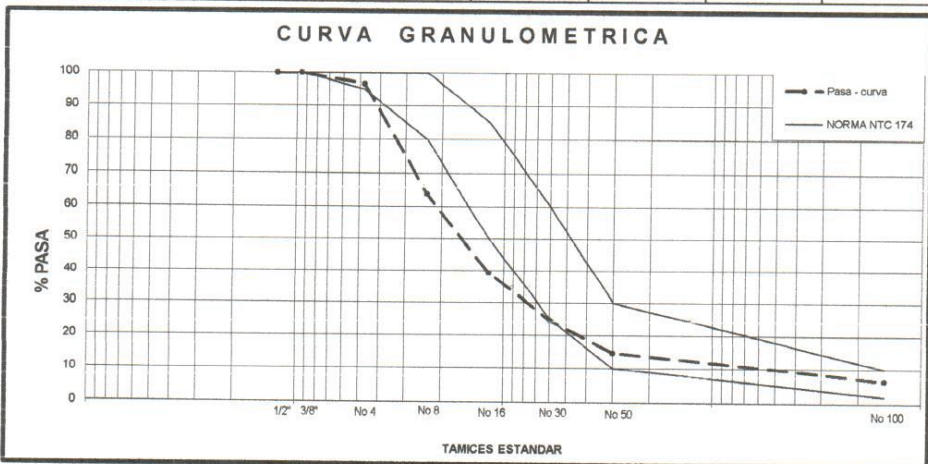
*[Signature]*  
REVISÓ

<b>EL CAIRO</b> <small>Construcciones</small>	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	<b>RE CQ 01</b> <small>Versión 1</small>
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	

Cliente: _____ Proyecto: _____ Material: <u>Arena lavada</u>	Fecha: <u>Enero 25 2017</u> Procedencia: <u>Río Risaralda</u>
--	--

Peso inicial muestra húmeda (g)	<u>1388</u>	humedad (%)	<u>6,40</u>	Peso inicial muestra húmeda (g)	<u>1286</u>
---------------------------------	-------------	-------------	-------------	---------------------------------	-------------

TAMIZ		Peso Ret. (g)	Retenido (%)	Ret. acum (%)	Pasa - curva (%)	NORMA NTC 174	
No.	Aber. (mm)					Mín	Máx
1/2"	12,500	0	0,0	0	100	100	100
3/8"	9,510	0	0,0	0,0	100,0	100	100
No 4	4,760	42,6	3,3	3,3	96,7	95	100
No 8	2,360	423,5	32,9	36,2	63,8	80	100
No 16	1,180	315,7	24,6	60,8	39,2	50	85
No 30	0,600	189,2	14,7	75,5	24,5	25	60
No 50	0,300	125,7	9,8	85,3	14,7	10	30
No 100	0,015	105,3	8,2	93,5	6,5	2	10
No 200	0,075	44,4	3,5	96,9	3,1		
pasa 200		39,4	3,1	100,0	0,0		



OBSERVACIÓN: MEM	Peso seco material	<b>1286</b>
	Diferencia	<b>39,4</b>
	% Pasa tamiz 200	<b>3,1</b>
	Módulo finura (Max 5%)	<b>2,45</b>

*[Firma]*  
ELABORÓ

*[Firma]*  
REVISÓ